



Proses Pembakaran 1

Presenter: Dr. Zalilah Sharer
© 2014 Pusat Teknologi Gas
Universiti Teknologi Malaysia
28 March 2015

Proses Pembakaran

1. Sumber Tenaga Dunia
2. Bahanapi Gas
 - Komponen, Sifat (SG, CV, Had kebolehbakaran, Suhu Pencucuhan, Halajau Pembakaran, Suhu Nyalaan, Nombor Wobbe)
3. Pembakaran Bahanapi Fosil
 - Proses Pembakaran, Keperluan Asas
4. Kategori Pembakaran
 - Pembakaran Unggul, Pembakaran Lengkap, bahan api lemah, Pembakaran tak Lengkap, bahan api kaya
5. Pengiraan dalam Proses Pembakaran

Sumber Tenaga Dunia

Dikelaskan kepada DUA jenis:

- ❖ Tenaga yang boleh dihasilkan semula (renewable)
 - contoh: penghasilan tenaga elektrik dari hydro, solar dan angin

- ❖ 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

Renewable Energy (Tenaga Kitar Semula)

Kuasa hydro - air



Kuasa solar - matahari



Angin



Non-Renewable (Pakai Habis)

minyak, arang batu



Gas asli



Sejarah Penghasilan Tenaga Dari Bahanapi Fosil

< 1850 – bahan api kayu

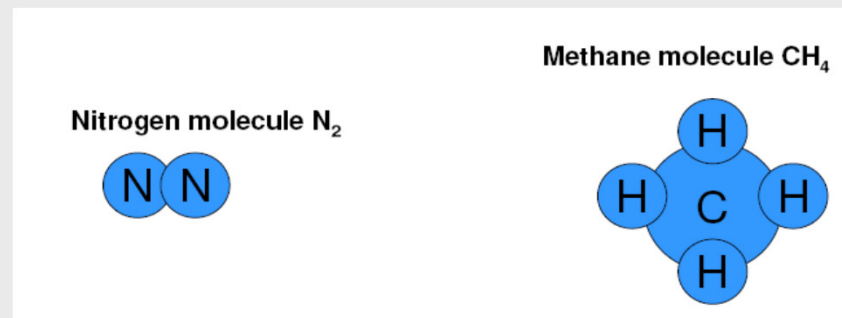
1840-1940 – arang batu

1940-1980's – bahan api cecair (minyak)

> 1980's – bahan api gas

Bahanapi Gas

- ❖ Hampir semua bahanapi mempunyai atom karbon (C) dan atom hidrogen (H) 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



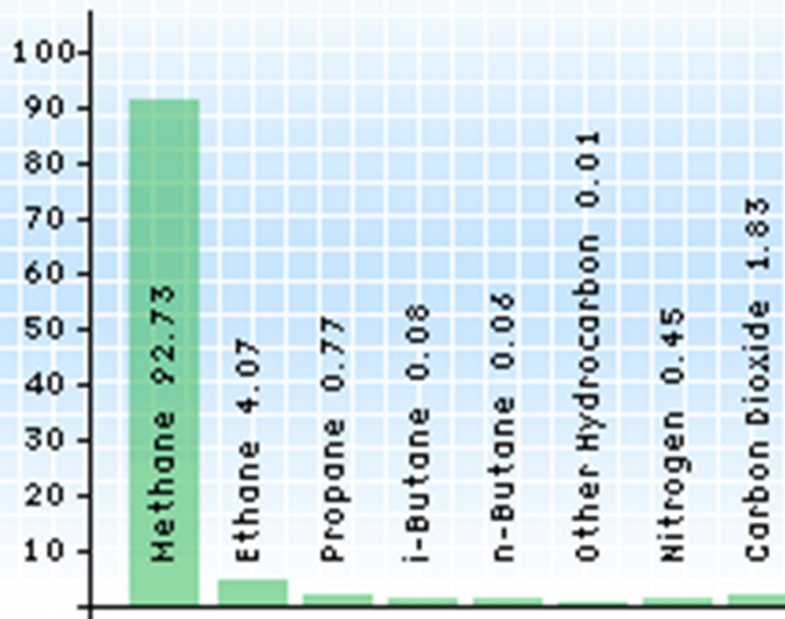
Dua jenis bahan api gas paling popular adalah gas asli dan gas petroleum cecair (GPC)

Komponen-Komponen Bahanapi Gas

- ❖ Campuran beberapa komponen hidrokarbon dan sejumlah kecil bahan bukan hidrokarbon seperti karbon dioksida, nitrogen dan sulfur
- ❖ 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.

Komponen-Komponen Gas Asli

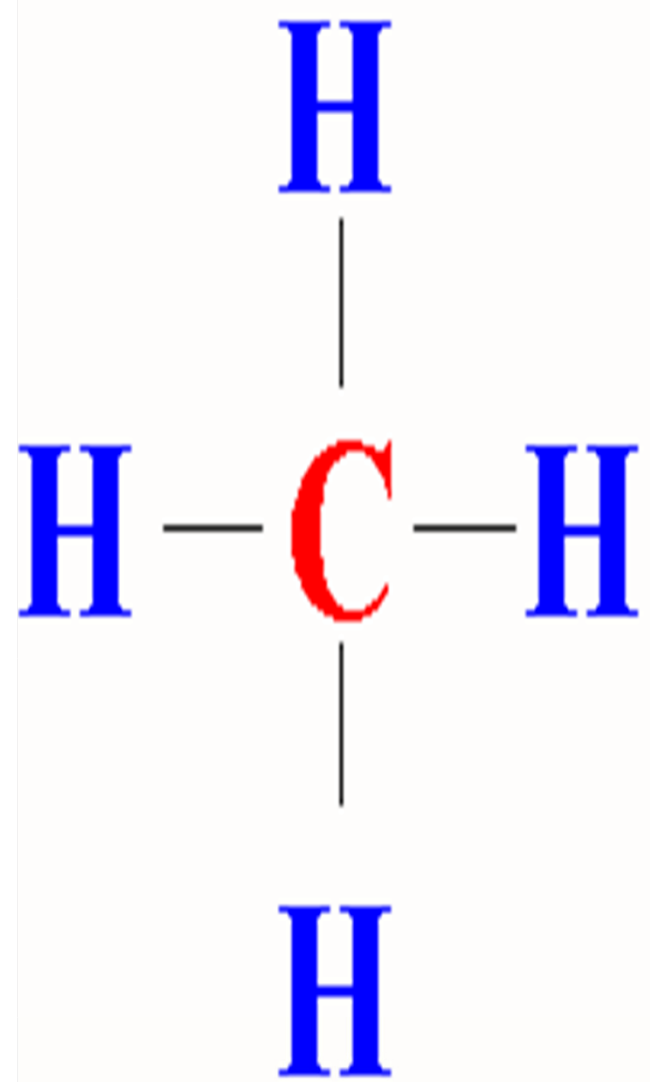
Natural Gas Compositon



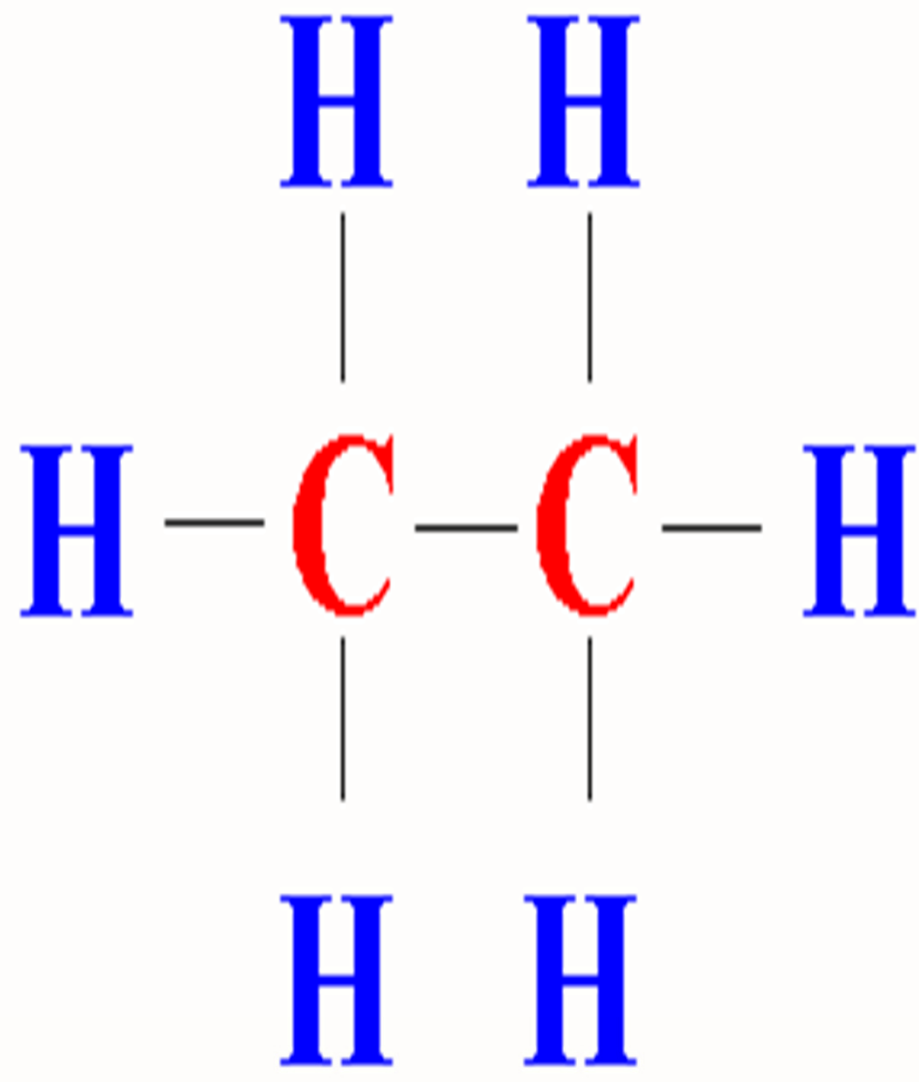
Methane	92.73
Ethane	4.07
Propane	0.77
i-Butane	0.08
n-Butane	0.06
Other Hydrocarbon	0.01
Nitrogen	0.45
Carbon Dioxide	1.83
TOTAL	100.00

hidrokarbon

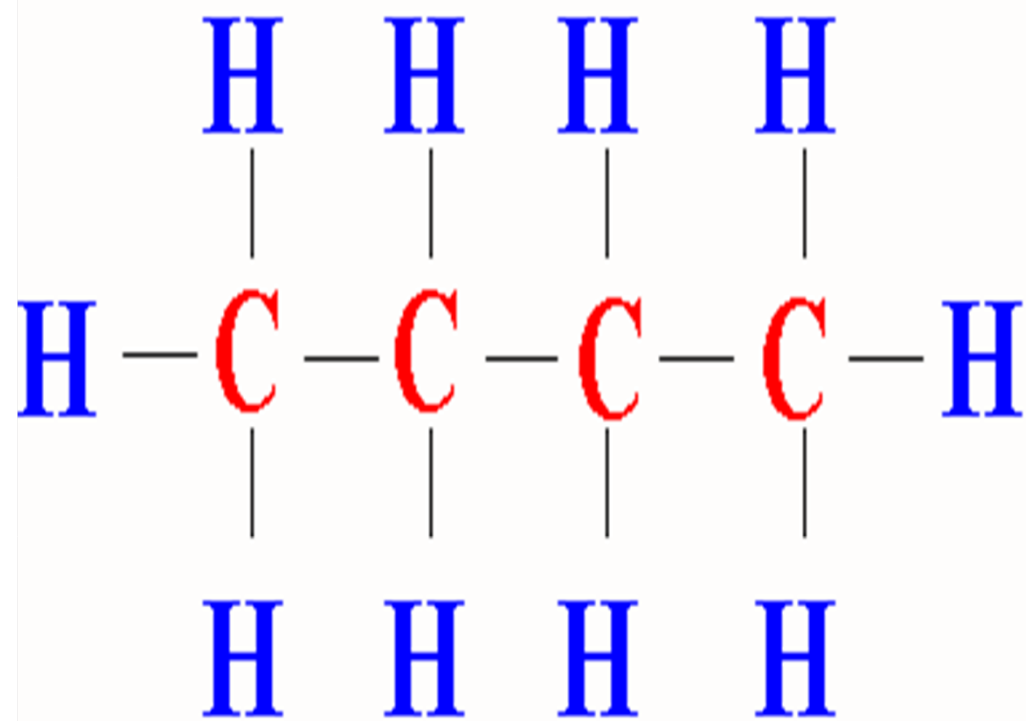
Bukan hidrokarbon



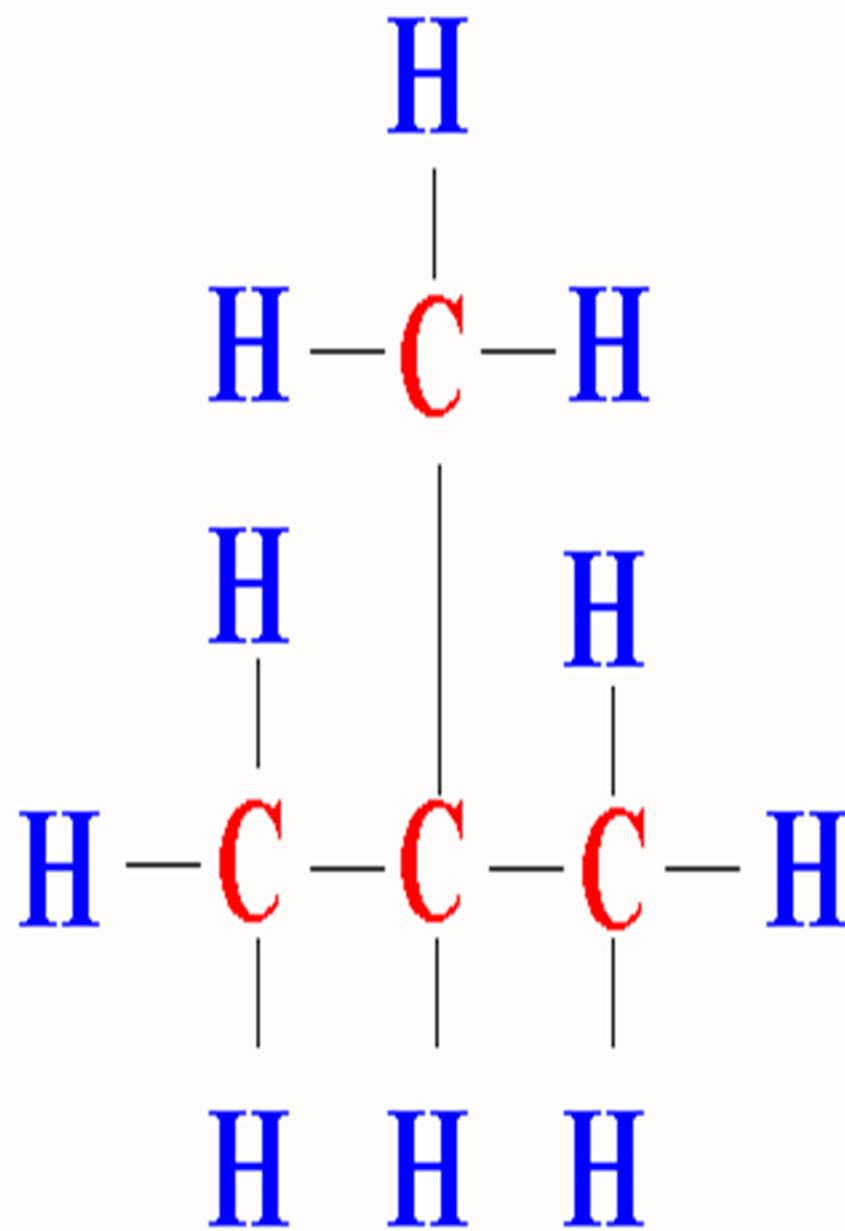
Methane



Ethane



n-Butane



i-Butane

Komposisi Gas Asli di Malaysia

Komponen		(% Isipadu)	
Nama	Simbol	Sebelum'95	Selepas'95
Metana	CH ₄	84.71	92.74
Ethana	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

Komposisi Gas Petroleum Cecair (GPC) di Malaysia

Komponen	Peratus Isipadu	
Nama	Simbol	% Isipadu
Propana	C_3H_8	30~40
Butana	C_4H_{10}	60~70
Jumlah		100.0

➤ GPC juga dikenali dgn LPG – liquified petroleum gas

Sifat/Kandungan Bahanapi Gas

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

- 1. Graviti Tentu (Sepecific Gravity, SG)**
- 2. Nilai Kalori (Calorific value, CV)**
- 3. Had kebolehbakaran**
- 4. Suhu Pencucuhan**
- 5. Halaju Pembakaran**
- 6. Suhu Nyalaan**
- 7. Nombor Wobbe**

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)

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

Graviti Tentu/Specific Graviti (SG)

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

$$SG_g = \sum Y_i SG_i$$

Dimana Y_i ialah pecahan mol atau % isipadu bahanapi

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

Graviti Tentu/Specific Graviti (SG)

- ❖ 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 (lebih berat) nozzle saiz kecil manakala gas asli (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 spesifik graviti untuk bahanapi gas

Component				
Name	Symbol	Berat Relatif (mol)	Berat Tentu (Kg/Nm ³)	Graviti Tentu (SG) (Udara=1)
Hydrogen	H ₂	2.02	0.0898	0.0695
Carbon Monoxide	CO ₂	28.01	1.2501	0.967
Methane	CH ₄	16.04	0.7167	0.555
Ethane	C ₂ H ₆	30.07	1.3567	1.048
Etyelen	C ₄ H ₄	28.05	1.2644	0.975
Propane	C ₃ H ₈	44.10	2.0200	1.554
Propylene	C ₃ H ₈	42.08	1.9149	1.479
Butane	C ₄ H ₁₀	58.12	2.5985	2.085
Carbon dioxide	CO ₂	44.01	1.9768	1.5291
Oxygen	O ₂	32.00	1.4289	1.1053
Nitrogen	N ₂	28.02	1.2507	0.9674
Water vapour	H ₂ O	18.02	0.804	0.622
Air	(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 95

Symbol	Composition (vol%) (A)	Specific Graviti (B)	<u>(A) X (B)</u> 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
TOTAL	100.0	-	0.6522

Cara penyelesaian;

Oleh itu

$$\text{Graviti tentu gas asli, SG} = 0.6522$$

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

$$= 0.843 \text{ kg/Nm}^3$$

$$= 0.843 \times \frac{273.15}{273.15+15}$$

$$= 0.799 \text{ kg/Sm}^3$$

SG gas asli < 1

➤ (lebih ringan dari udara maka ia akan naik keatas)

Contoh mengira SG bagi LPG (butane 70% and propane 30%)

Symbol	Composition (vol%) (A)	Specifik graviti (B)	<u>(A) X (B)</u> 100
C ₃ H ₈	30.00	1.554	0.4662
C ₄ H ₁₀	70.00	2.085	1.4595
Total	100.00	-	1.9257

Then

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

$$\begin{aligned}\text{Berat tentu} &= 1.9257 \times 1.2928 \text{ kg/Nm}^3 \\ &= 2.490 \text{ kg/Nm}^3 \\ &= 2.360 \text{ kg/Sm}^3\end{aligned}$$

SG > 1

➤ (lebih berat dari udara maka ia akan terkumpul dibawah)

Latihan 5

- Kira Specific Gravity, SG

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.**



- ❖ Biasanya diberikan dalam nilai 'kasar' atau 'bersih'

Nilai kalori untuk beberapa bahanapi di Malaysia

Nilai kalori	Unit	Gas asli	Gas asli	GPC
		Before '95	After '95	Commercial
Kasar	Kcal/m ³	9582	9253	28059
(Gross)	Btu/m ³	38024	36718	111345
	Kcal/kg	11992	12487	11889
Bersih	Kcal/m ³	8644	8333	25844
(Net)	Btu/m ³	34302	33067	102556
	Kcal/kg	10816	11246	10951

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
		3784	3402	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.) Btu/Nm ³	Net CV (pure comp.) Btu/Nm ³	Vol%	Gross CV Btu/Nm ³	Net CV Btu/Nm ³
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

CV kasar = 52476 Btu/Nm³

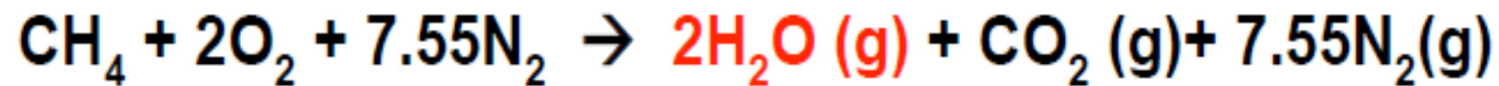
CV bersih = 47664 Btu/Nm³

Net



Net Calorific Value

If the water in the combustion products is in gas form,

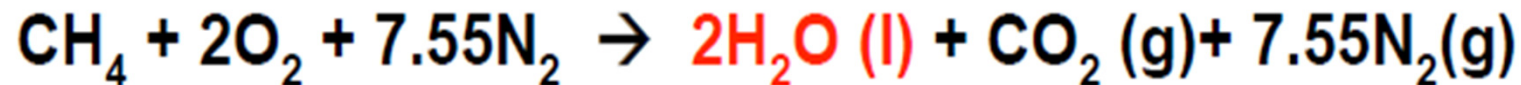


$\Delta H^\circ_{\text{comb}}$ is net heat of combustion and the calorific value is net calorific value.

Gross

By condensing the water vapor, we extract /recover more heat (the latent heat of vaporization of water) from the combustion products.

So, if the water in the combustion products is in liquid form,



$\Delta H^\circ_{\text{comb}}$ is gross heat of combustion and the calorific value is gross calorific value.

Latihan 6

- **Kira nilai kalori untuk bahan api gas**

Had kebolehbakaran

- ❖ 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 untuk beberapa bahan api gas

Name of gas and symbol	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

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

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, PPDL-Physical Property Data

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

		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		~39	0.9	0.9%

Halaju pembakaran akan bertambah dengan bertambahnya oksigen level dalam udara

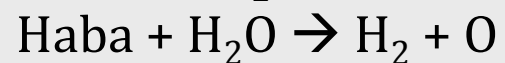
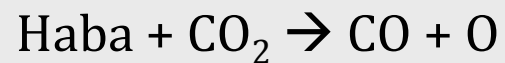
Suhu Nyalaan

- ❖ 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

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



Nombor Wobbe

❖ Juga dikenali sebagai Wobbe Index (WI)

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

❖ Bahanapi gas yang mempunyai Index Wobbe yang sama boleh ditukar ganti penggunaanya tanpa membuat perubahan kepada sistem penunu

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

Latihan 7

- **Kira nilai SG dan CV untuk bahan api gas**
- **Kemudian kira Nombor Wobbe**

Pembakaran Bahanapi Fossil

- ❖ **Pembakaran bahan api fossil 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**
 - **'Excess air requirement'**
 - **Hampir kesemua penghasilan tenaga dari bahanapi fossil 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*

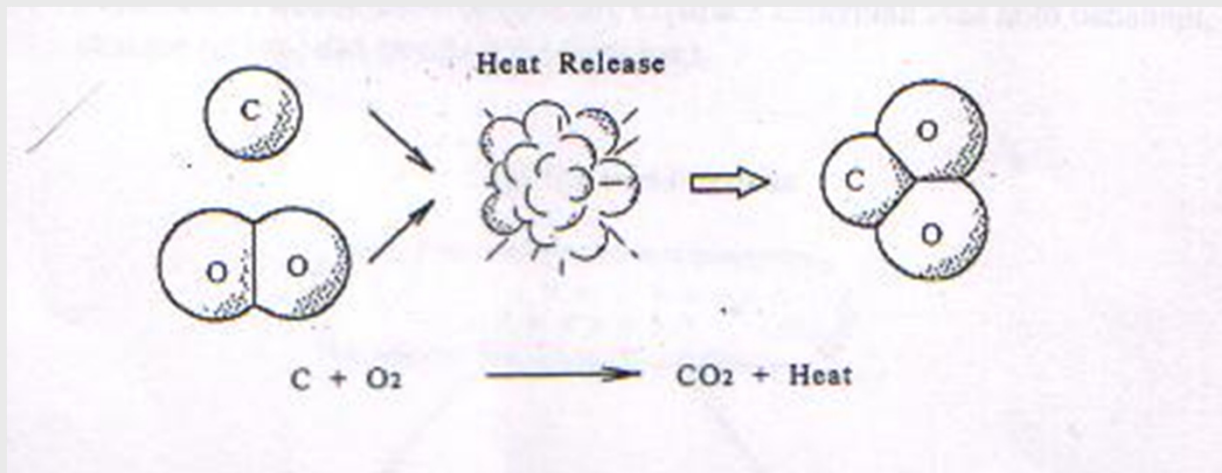
Bahanapi + oksigen → Haba/cahaya + hasil pembakaran

Bahanapi → gas asli, minyak, arangbatu, diesel

Oksigen → dari udara

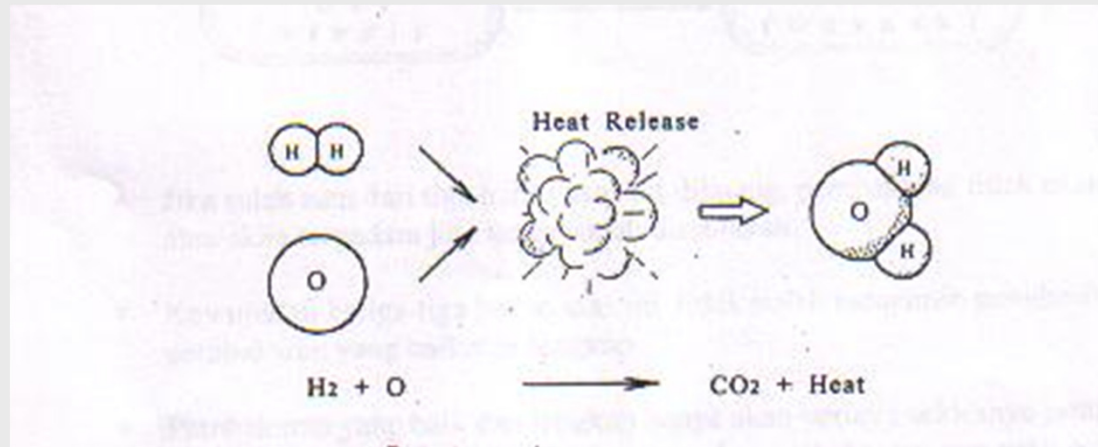
Hasil pembakaran → carbon dioksida, carbon monoksida

Contohnya molekul wap air (H₂O) dan karbon dioksida (CO₂) serta hasil sampingan (byproduct) bergantung kepada proses pembakaran tersebut.



Karbon + oksigen → haba + karbon dioksida



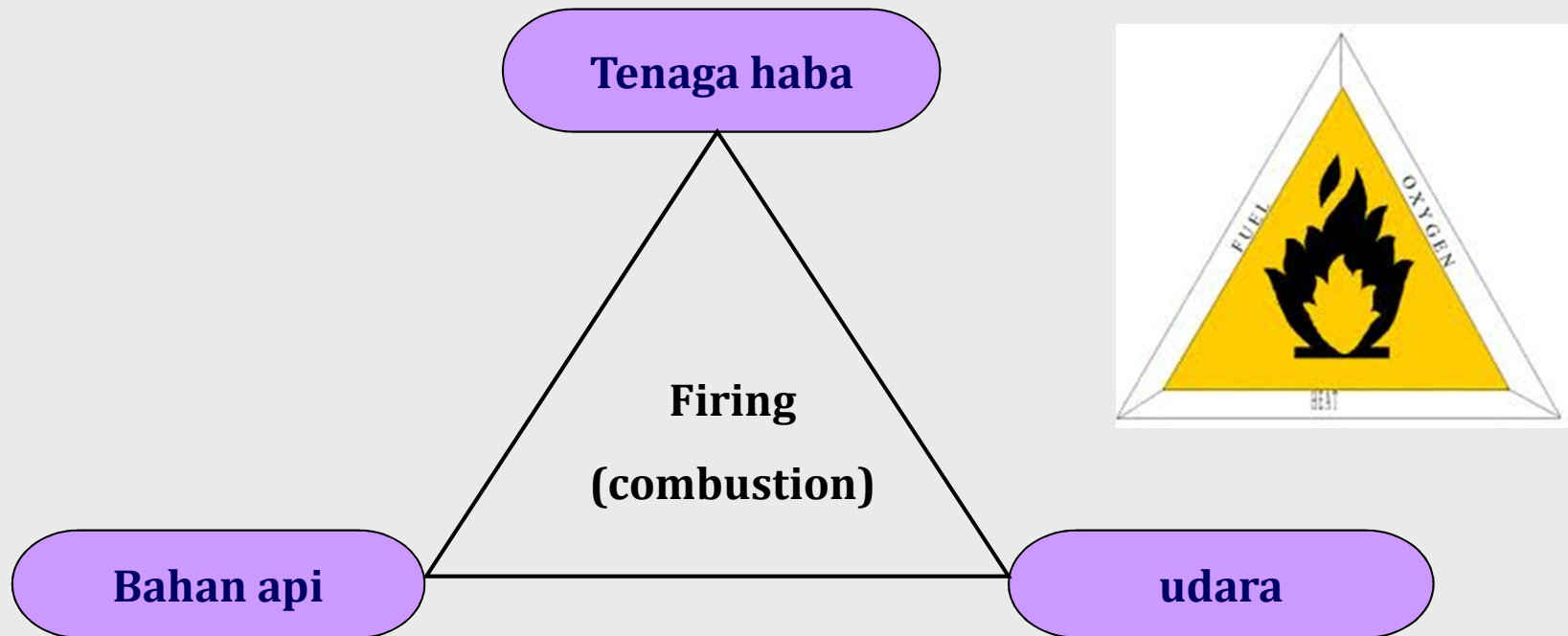


Hasil sampingan pembakaran adalah karbon monoksida (CO), Aldehydes (H) dan bahanapi yang tak terbakar. Ini disebabkan oleh pembakaran yang tidak lengkap

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).



Keperluan Asas Pembakaran

- ❖ 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.

Kategori Proses Pembakaran

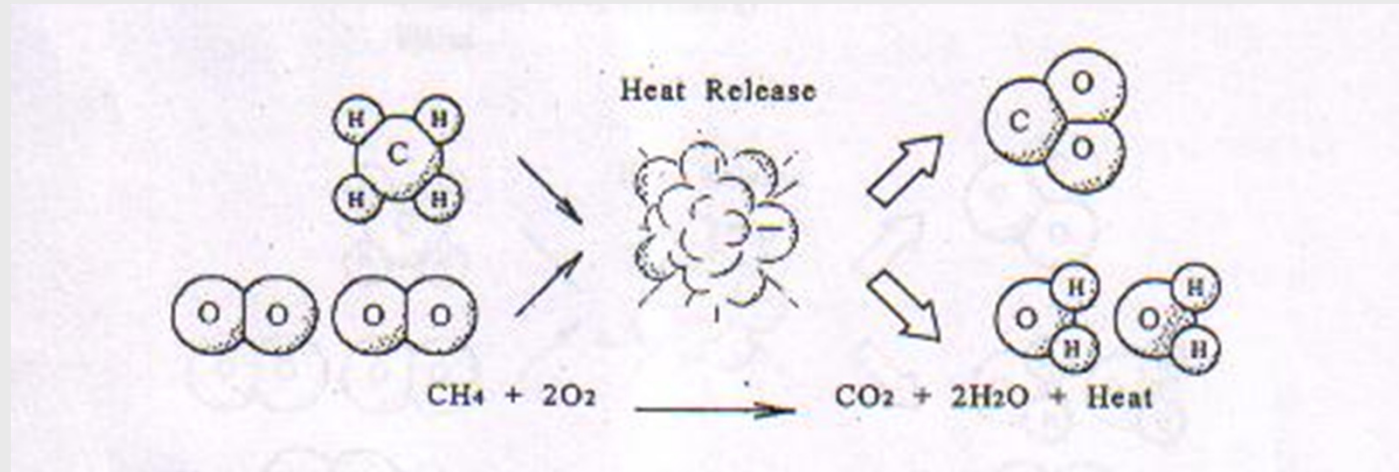
Terdapat 3 jenis proses pembakaran yang ditentukan oleh bekal udara (oksigen)

- Pembakaran unggul (stoikiometrik)
- Pembakaran lengkap (bahan api lemah)
- Pembakaran tak lengkap (bahan api kaya)

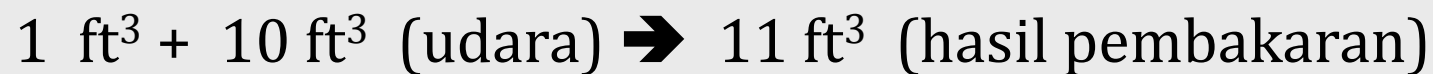
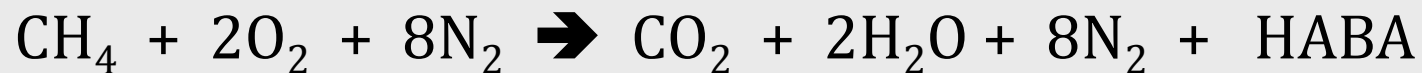
Pembakaran unggul (Perfect)

- ❖ 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'

Pembakaran unggul (Perfect)



Persamaan (gas asli):



Pembakaran unggul (Perfect)

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 bekalan 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:

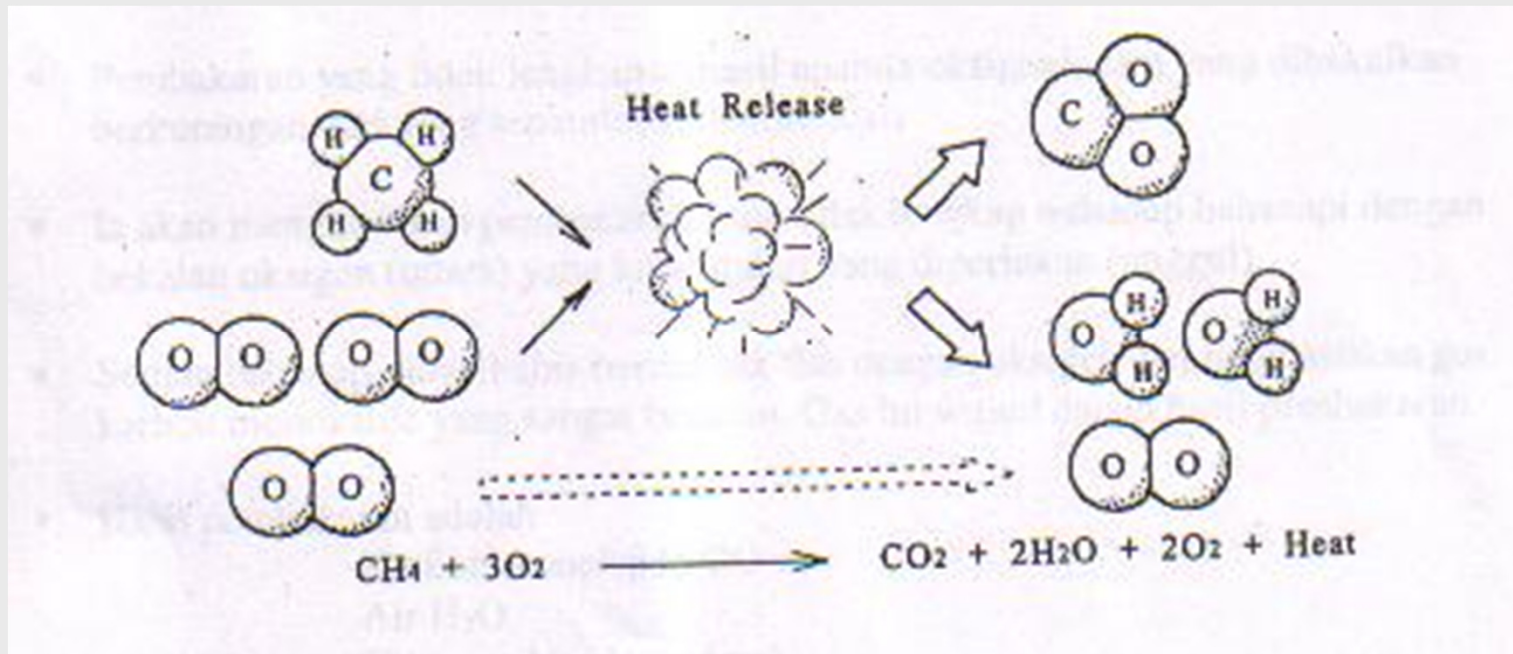
Karbon dioksida CO_2

Air H_2O (dari udara)

Nitrogen N_2 (dari udara)

Haba

Pembakaran Lengkap, bahan api lemah



Persamaan (gas asli)



Pembakaran Lengkap, bahan api lemah

- ❖ 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 O_2)
- ❖ Lebih tinggi peratusan lebihan oksigen atau udara dalam hasil pembakaran, akan menurunkan kecekapan pembakaran kerana lebihan oksigen ini akan menyerap haba yang terhasil dari tindakbalas pembakaran yang sepatutnyadigunakan 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 bahanapi 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

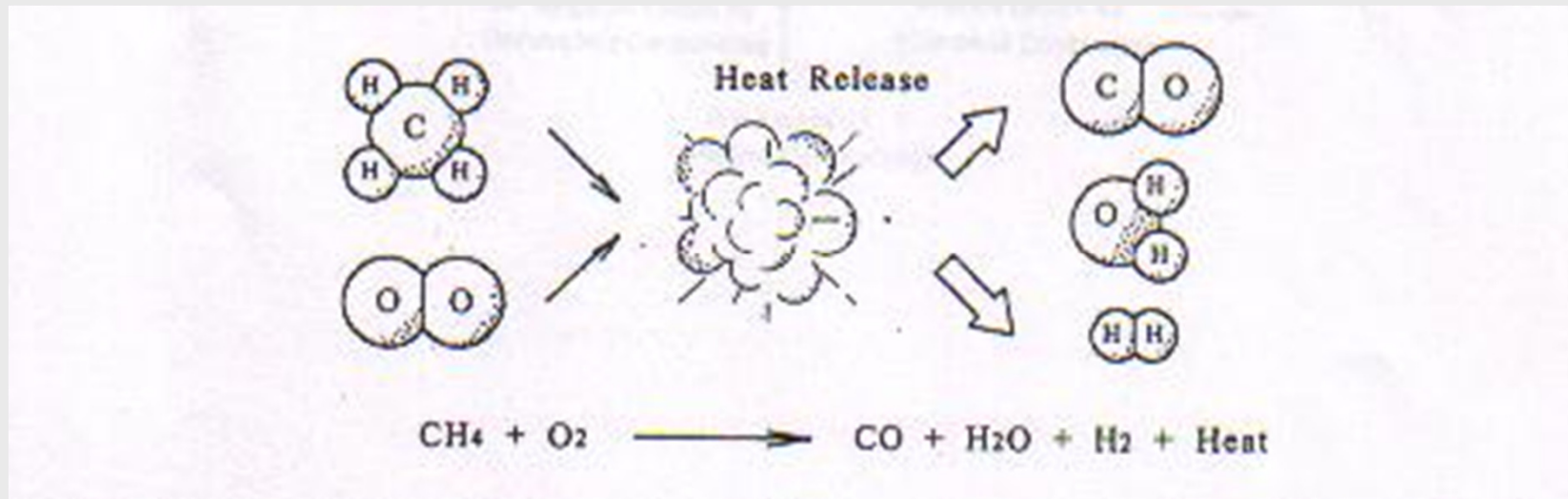
Pembakaran lengkap

Pembakaran lengkap sangat penting dari aspek ekonomi bahanapi 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 bahanapi dengan bekalan oksigen (udara) yang kurang dari yang diperlukan (unggul).
- ❖ Semua bahanapi 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

Pembakaran tak Lengkap, bahan api kaya



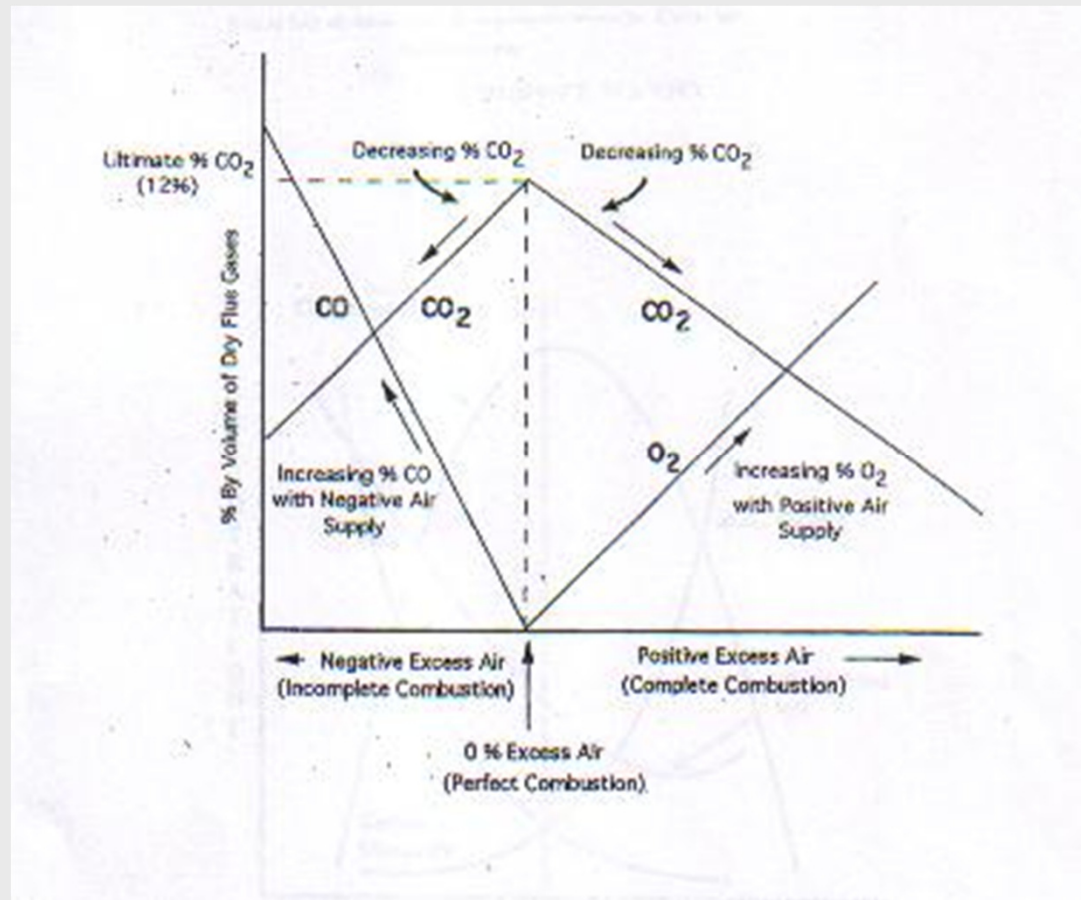
Persamaan (gas asli)



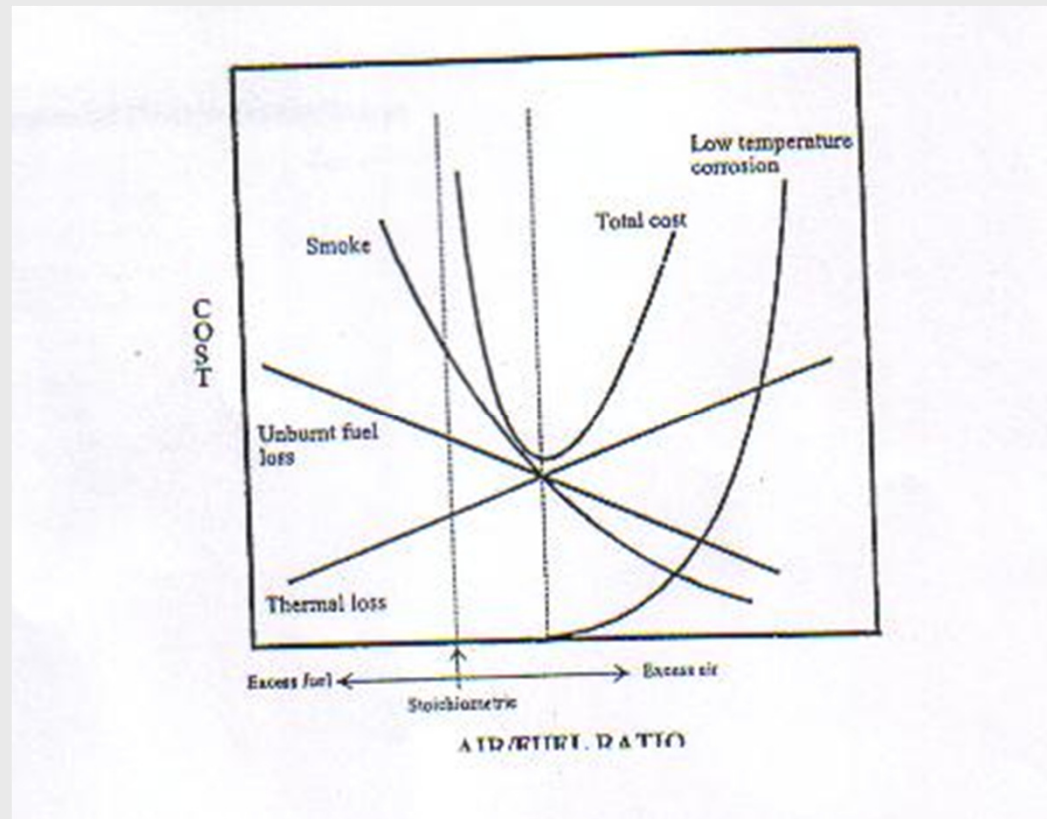
Pembakaran tak Lengkap, bahan api kaya

- ❖ 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 bahanapi 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 terbuang 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.

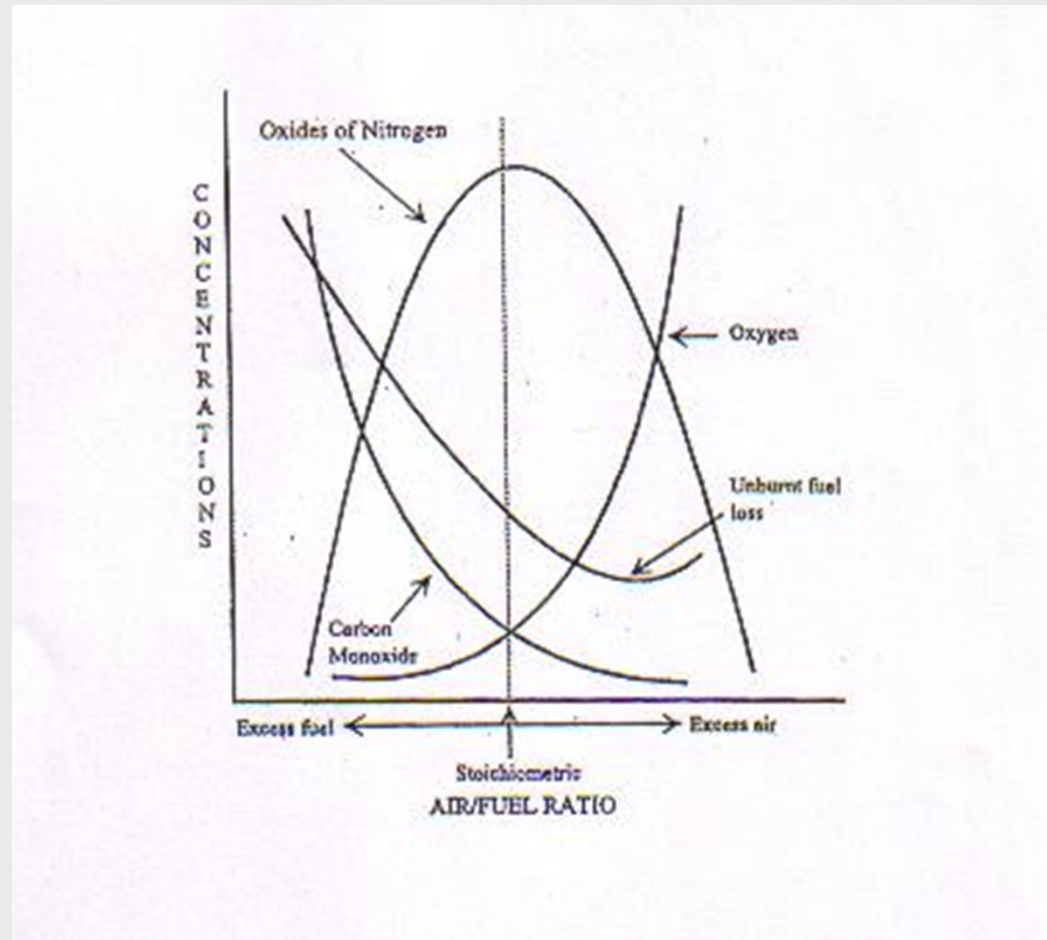
Graf Peratusan CO₂ berbanding Peratusan Udara Lebih



Graf Kos berbanding Nisbah Udara/Bahan Api



Graf Kepekatan berbanding Nisbah Udara/Bahan Api



Pengiraan Proses Pembakaran

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



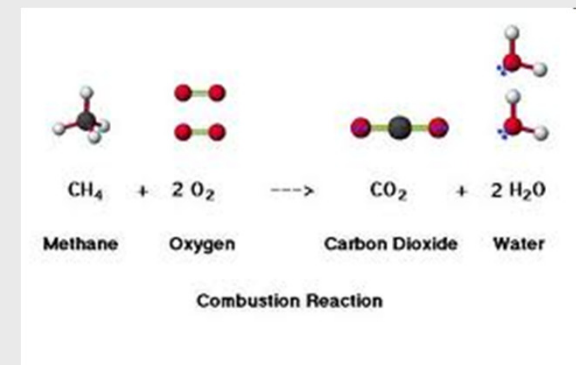
Theoretical oxygen (oksigen teori) adalah 2 Nm^3 per 1 Nm^3 metana

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

Nisbah udara/gas

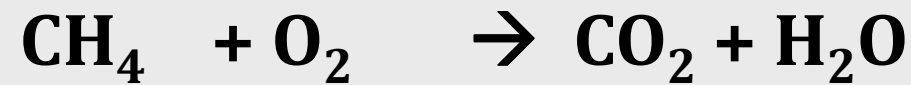
$$\text{Nisbah udara/gas} = A_a / A_t$$

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 Metana



Jumlah kiri = Jumlah kanan



Contoh persamaan pembakaran Etana



Jumlah kiri = Jumlah kanan



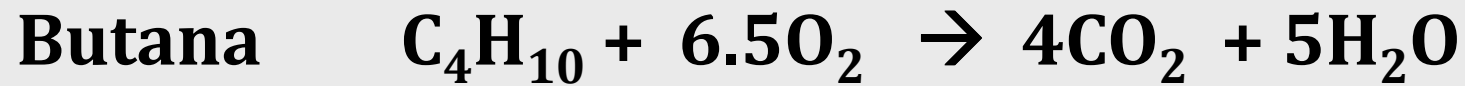
Contoh persamaan pembakaran Propana



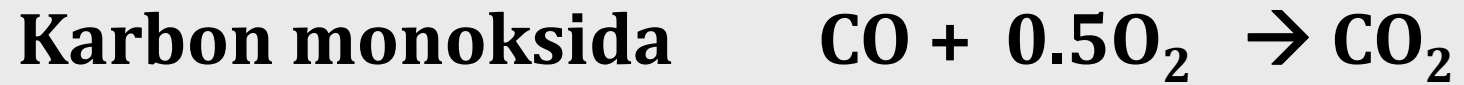
Jumlah kiri = Jumlah kanan



Contoh persamaan pembakaran



Contoh persamaan pembakaran



Latihan 4

- Tulis formula pembakaran

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

Symbol	Combustion equation	Component (Vol %) (A)	O ₂ Required (m ³ / m ³) (B)	Total O ₂
CH ₄	CH ₄ + 2 O ₂ = CO ₂ + 2 H ₂ O	84.75	2.0	1.695
C ₂ H ₆	C ₂ H ₆ + 3.5 O ₂ = 2 CO ₂ + 2 H ₂ O	10.41	3.5	0.364
C ₃ H ₈	C ₃ H ₈ + 5 O ₂ = 3 CO ₂ + 4 H ₂ O	0.98	5.0	0.049
C ₄ H ₁₀	C ₄ H ₁₀ + 6.5 O ₂ = 4 CO ₂ + 5 H ₂ O	0.11	6.5	0.007
N ₂	Non combustion (no effect)	0.19	0.0	-
CO ₂	Non combustion (no effect)	3.36	0.0	-
TOTAL		100.00	-	2.115

Oksigen teori yg diperlukan adalah 2.115 m³/m³.

Udara teori yang diperlukan boleh dikira menggunakan 21% oksigen yang terkandung di dalam atmosphera 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:

Symbol	Combustion equation	Component (Vol %) (A)	O ₂ Required (m ³ / m ³) (B)	Total O ₂
C ₃ H ₈	C ₃ H ₈ + 5 O ₂ = 3 CO ₂ + 4 H ₂ O	29.81	5.0	1.4905
C ₄ H ₁₀	C ₄ H ₁₀ + 6.5 O ₂ = 4 CO ₂ + 5 H ₂ O	66.64	6.5	4.3316
N ₂	Non combustion (non effect)	0.19	0.0	-
CO ₂	Non combustion (non effect)	3.36	0.0	-
TOTAL		100.00	-	5.8221

Oksigen teori adalah 5.8221 m³/m³

Udara teori yg diperlukan ialah $100/21 \times 5.8221 = 27.72$ m³/m³

Latihan 8 & 9

- Kira udara teori dan oksigen teori

Sila lengkapkan semua latihan

Latihan 1, 2 dan 3

Soalan?



THE END

**Terima Kasih untuk perhatian yang
diberikan!!**