

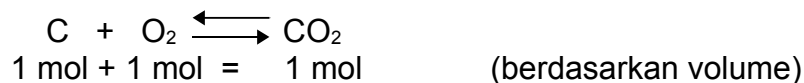
BAB V

CAMPURAN BEREAKSI : PEMBAKARAN

Pembakaran Bahan Bakar Padat

Pembakaran pada bahan bakar adalah kombinasi kimia dengan oksigen. Hal-hal yang penting pada pembakaran:

1. Jika karbon dibakar dengan jumlah oksigen yang cukup, karbon dioksida dihasilkan dengan disertai sejumlah panas. Reaksi kimianya adalah sbb:



atau $12 \text{ kg} + 32 \text{ kg} = 44 \text{ kg}$ (berdasarkan berat)

atau $1 \text{ kg} + 8/3 \text{ kg} = 11/3 \text{ kg}$

Artinya bahwa 1 kg karbon memerlukan 8/3 kg oksigen untuk menyelesaikan pembakaran, dan menghasilkan 11/3 kg gas karbon dioksida.

2. Jika oksigen tidak tersedia dengan cukup, maka pembakaran karbon tidak sempurna. Sehingga akan menghasilkan karbon monoksida daripada karbon dioksida.



atau $2 \times 12 \text{ kg} + 2 \times 16 \text{ kg} = 2 \times 28 \text{ kg}$ (berdasarkan berat)

atau $1 \text{ kg} + 4/3 \text{ kg} = 7/3 \text{ kg}$

3. Jika karbon monoksida dibakar lebih lanjut, akan menghasilkan karbon dioksida, maka:



atau $2 \times 28 \text{ kg} + 2 \times 16 \text{ kg} = 2 \times 44 \text{ kg}$ (berdasarkan berat)

atau $1 \text{ kg} + 4/7 \text{ kg} = 11/7 \text{ kg}$

4. Jika belerang (sulfur) dibakar, akan menghasilkan sulfur dioksida dengan persamaan kimia:

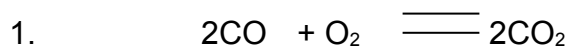


atau $32 \text{ kg} + 2 \times 16 \text{ kg} = 64 \text{ kg}$ (berdasarkan berat)

atau $1 \text{ kg} + 1 \text{ kg} = 2 \text{ kg}$

Pembakaran Bahan Bakar Gas

Bahan bakar gas biasanya diukur berdasarkan volume (dalam m³). Berikut ini adalah reaksi-reaksi kimia penting dengan oksigen dari bahan bakar gas:



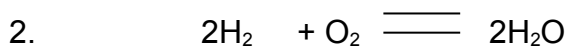
atau : $2 \text{ Vol} + 1 \text{ Vol} = 2 \text{ Vol}$

$2 \text{ m}^3 + 1 \text{ m}^3 = 2 \text{ m}^3$ (berdasarkan volume)

$2 \times 28 \text{ kg} + 1 \times 32 \text{ kg} = 2 \times 44 \text{ kg}$ (berdasarkan berat)

$1 \text{ kg} + 4/7 \text{ kg} = 11/7 \text{ kg}$

artinya, 2 volume karbon monoksida membutuhkan 1 volume oksigen dan menghasilkan 2 volume karbon dioksida, atau 1 kg karbon monoksida memerlukan 4/7 kg oksigen untuk menghasilkan 11/7 kg karbon dioksida.



atau : $2 \text{ Vol} + 1 \text{ Vol} = 2 \text{ Vol}$

$2 \text{ m}^3 + 1 \text{ m}^3 = 2 \text{ m}^3$ (berdasarkan volume)

$2 \times 2 \text{ kg} + 1 \times 32 \text{ kg} = 2 \times 18 \text{ kg}$ (berdasarkan berat)

$1 \text{ kg} + 8 \text{ kg} = 9 \text{ kg}$

3. $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \xrightarrow{\quad\quad\quad} \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$
- atau :
- $$1 \text{ Vol} + 2 \text{ Vol} = 1 \text{ Vol} + 2 \text{ Vol}$$
- $$1 \text{ m}^3 + 2 \text{ m}^3 = 1 \text{ m}^3 + 2 \text{ m}^3 \quad (\text{berdasarkan volume})$$
- $$16 \text{ kg} + 2 \times 32 \text{ kg} = 44 \text{ kg} + 2 \times 18 \text{ kg} \quad (\text{berdasarkan berat})$$
- $$1 \text{ kg} + 4 \text{ kg} = 11/4 \text{ kg} + 9/4 \text{ kg}$$
4. $\text{C}_2\text{H}_4 + 3\text{O}_2 \xrightarrow{\quad\quad\quad} 2\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$
- atau :
- $$1 \text{ Vol} + 3 \text{ Vol} = 2 \text{ Vol} + 2 \text{ Vol}$$
- $$1 \text{ m}^3 + 3 \text{ m}^3 = 2 \text{ m}^3 + 2 \text{ m}^3 \quad (\text{berdasarkan volume})$$
- $$28 \text{ kg} + 3 \times 32 \text{ kg} = 2 \times 44 \text{ kg} + 2 \times 18 \text{ kg} \quad (\text{berdasarkan berat})$$
- $$1 \text{ kg} + 24/7 \text{ kg} = 22/7 \text{ kg} + 9/7 \text{ kg}$$

Berat Minimum Udara Yang Diperlukan Untuk Pembakaran Sempurna

Berat teoritis atau berat minimum oksigen (atau volume) yang dibutuhkan untuk pembakaran sempurna 1 kg bahan bakar bisa dicari dari analisis kimia bahan bakar. Misalkan 1 kg bahan bakar:

$$\text{Berat karbon} = C \text{ kg}$$

$$\text{Berat hidrogen} = H_2 \text{ kg}$$

$$\text{Berat Sulfur} = S \text{ kg}$$

Kita tahu bahwa 1 kg karbon memerlukan $8/3$ kg oksigen untuk pembakaran sempurna, dengan cara yang sama, 1 kg hidrogen memerlukan 8 kg oksigen dan 1 kg sulfur memerlukan 1 kg oksigen.

Oksigen total yang diperlukan untuk pembakaran sempurna untuk 1 kg bahan bakar:

$$= \frac{8}{3}C + 8H_2 + S \quad \text{kg}$$

Jika ada sejumlah oksigen (katakanlah O_2 kg) terdapat pada bahan bakar, maka oksigen total yang diperlukan untuk pembakaran sempurna 1 kg bahan bakar:

$$= \left[\frac{8}{3}C + 8H_2 + S \right] - O_2 \quad \text{kg}$$

Oksigen untuk pembakaran umumnya berasal dari udara, yang sebagian besar adalah unsur nitrogen dan oksigen serta sejumlah kecil karbon dioksida dan unsur-unsur lainnya seperti argon, neon, kripton dsb. Tetapi untuk perhitungan, komposisi udara diambil sebagai berikut:

Nitrogen (N_2) = 77% Oksigen (O_2) = 23% berdasarkan berat

Nitrogen (N_2) = 79% Oksigen (O_2) = 21% berdasarkan volume

Sehingga untuk mendapatkan 1 kg oksigen, jumlah air yang diperlukan:

$$= 100/23 = 4,35 \quad \text{berdasarkan berat.}$$

Udara minimum yang diperlukan untuk pembakaran 1 kg bahan bakar:

$$= \frac{100}{23} \left[\frac{8}{3}C + 8H_2 + S - O_2 \right] \quad \text{kg}$$

Volume Minimum Udara Yang Diperlukan Untuk Pembakaran Sempurna

Volume oksigen yang diperlukan untuk pembakaran sempurna 1 m³ gas bahan bakar bisa dihitung dari analisis kimia bahan bakar. Misalkan 1 m³ bahan bakar gas mengandung:

- volume karbon monoksida = CO m³
- volume hidrogen = H₂ m³
- Volume metana = CH₄ m³

$$\text{- Volume ethylen} = \text{C}_2\text{H}_4 \text{ m}^3$$

sedangkan

- 2 volume CO memerlukan 1 volume O₂ atau 1 vol. CO memerlukan 0,5 vol. O₂
- 2 volume H₂ memerlukan 1 volume O₂ atau 1 vol. H₂ memerlukan 0,5 vol O₂
- 1 vol. Metana memerlukan 2 vol. O₂ dan
- 1 Vol. Ethylen memerlukan 3 vol. O₂.

Jadi total oksigen yang dibutuhkan untuk pembakaran sempurna 1 m³ bahan bakar:

$$= 0,5 \text{ CO} + 0,5 \text{ H}_2 + 2\text{CH}_4 + 3\text{C}_2\text{H}_4 \text{ m}^3$$

Jika sejumlah oksigen sudah ada di bahan bakar (katakanlah sejumlah O₂ m³), maka oksigen total yang diperlukan untuk pembakaran sempurna 1 m³ bahan bakar:

$$= [0,5 \text{ CO} + 0,5 \text{ H}_2 + 2\text{CH}_4 + 3\text{C}_2\text{H}_4] - \text{O}_2 \text{ m}^3$$

Karena oksigen di udara ada sebanyak 21%, maka volume udara minimum yang diperlukan untuk pembakaran 1 m³ bahan bakar:

$$= \frac{100}{21} [(0,5\text{CO} + 0,5\text{H}_2 + 2\text{CH}_4 + 3\text{C}_2\text{H}_4) - \text{O}_2] \text{ m}^3$$

Konversi Analisis Volumetrik ke Analisis Berat atau Analisis Gravimetrik

Jika komposisi volumetrik bahan bakar gas diketahui, maka bisa dikonversikan ke komposisi gravimetrik dengan menggunakan hukum Avogadro:

1. Kalikan volume tiap kandungan dengan berat molekulnya. Ini akan memberikan berat proporsional kandungan.
2. Jumlahkan berat-berat ini dan bagi masing-masing berat dengan berat total ini, dan nyatakan dalam persen.

3. Ini akan memberikan analisis persen dalam berat.

Contoh berikut akan menjelaskan hal ini.

Contoh Soal:

*Analisis volumetrik gas adalah: CO₂ 14%, CO 1%, O₂ 5% dan N₂ 80%.
Hitunglah komposisi gas bahan bakar berdasarkan berat.*

Jawab

Kandungan gas	Volume dalam 1 m ³ gas asap (a)	Berat molekul (b)	Berat proporsional (c)=(a×b)	Berat dalam kg per kg gas asap (d)=(c)/Σ(c)	% berdasarkan berat =dx100
CO ₂	0,14	44	6,16	6,16/30,44=0,202	20,2%
CO	0,01	28	0,28	0,28/30,44=0,009	0,9%
O ₂	0,05	32	1,60	1,60/30,44=0,053	5,3%
N ₂	0,80	28	22,40	22,40/30,44=0,736	73,6%
Total	1,00		30,44	1,000	100,0

Komposisi gas bahan bakar berdasarkan berat diberikan pada kolom terakhir.

Konversi Analisis Berat ke Analisis Volumetrik

Konversi analisis berat gas bahan bakar ke analisis volumetrik dilakukan dengan langkah-langkah berikut:

1. Uraikan volume masing-masing kandungan gas berdasarkan berat molekul. Ini akan menghasilkan volume proporsional kandungan.
2. Jumlahkan volume-volume ini dan bagilah setiap volume dengan volume total, dan nyatakan dalam persen.
3. Hal ini akan memberikan analisis berdasarkan volume.

Contoh soal:

Gas bahan bakar mempunyai komposisi persen berdasarkan berat sebagai berikut:

CO 13,3%; CO 0,95%; O₂ 8,35% dan N₂ 77,4%. Rubahlah kedalam analisis volumetrik.

Jawab

Kandungan gas	% analisis berat (a)	Berat molekul (b)	Volume proporsional (c)=(a/b)	Volume dalam 1 m3 gas asap (d)=(c)/Σ(c)	% analisis volumetrik
CO ₂	13,3	44	13,3/44=0,302	0,302/3,357=0,090	9,0
CO	0,95	28	0,95/28=0,034	0,034/3,357=0,010	1,0
O ₂	8,35	32	8,35/32=0,261	0,261/3,357=0,078	7,8
N ₂	77,40	28	77,4/28=2,76	2,76/3,357=0,822	82,2
Total	100,0		Σ(c)= 3,357	100,0	100,0

Komposisi gas bahan bakar berdasarkan volume diberikan oleh kolom terakhir.

Berat Karbon Dalam Gas Asap

Berat karbon yang dikandung oleh 1 kg asap atau gas buang bisa dihitung dari berat karbon dioksida dan karbon monoksida yang ada.

Berat karbon per kg gas asap:

$$= \frac{3}{11} CO_2 + \frac{3}{7} CO$$

dimana CO₂ dan CO mewakili jumlah karbon dioksida dan karbon monoksida dalam 1 kg gas asap.

Berat Gas Asap per kg Bahan Bakar Terbakar

Berat gas asap kering bisa diperoleh dengan membandingkan berat karbon yang ada di gas asap dengan berat karbon di dalam bahan bakar, karena tidak ada kerugian karbon selama pembakaran.

Secara matematik, berat gas asap per kg bahan bakar:

$$= \frac{\text{Berat karbon dalam 1 kg bahan bakar}}{\text{Berat karbon dalam 1 kg gas asap}}$$

Kelebihan Suplai Udara

Dalam keadaan sebenarnya, sejumlah udara dilebihkan dari kebutuhan udara minimum supaya pembakaran sempurna dan cepat. Jumlah kelebihan udara berbeda tergantung kondisi bahan bakar dan pembakaran. Jumlahnya bisa mendekati 100%, tetapi kecendrungan mesin modern kelebihan udara sekitar 25 sampai 50%.

Berat kelebihan udara yang disuplai bisa ditentukan oleh berat oksigen yang tidak terpakai yang ditemukan di gas asap. Atau, kelebihan suplai udara:

$$= \frac{100}{23} \times \text{Berat kelebihan oksigen}$$

Berat total udara yang disuplai:

$$= \text{Berat udara yang diperlukan} + \text{Berat kelebihan udara}$$

Secara rumus bisa dituliskan:

1. Berat kelebihan udara suplai per kg bahan bakar :

$$= \frac{79xO_2xC}{21x33(CO_2 + CO)}$$

dimana O_2 , CO_2 dan CO adalah persentase oksigen, karbon dioksida dan karbon monoksida dalam gas asap (berdasarkan volume) terhadap persentase karbon di dalam bahan bakar berdasarkan berat.

2. Jumlah udara yang diperlukan per kg bahan bakar:

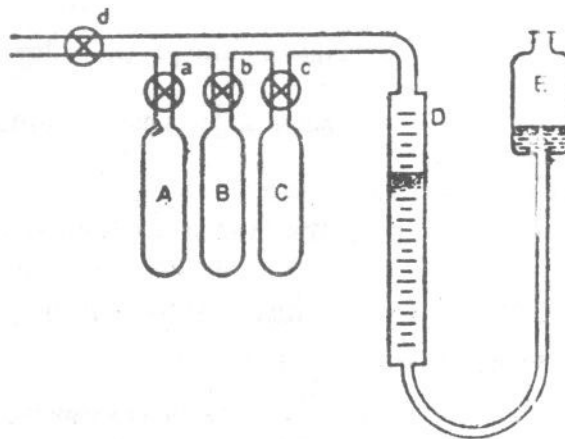
$$= \frac{N_2 x C}{33(CO_2 + CO)}$$

dimana N_2 adalah persentase nitrogen di dalam gas asap berdasarkan volume.

3. Kelebihan dari campuran udara-bahan bakar yang disuplai ke mesin pembakaran dalam diukur dengan rasio udara terhadap berat bahan bakar.

Analisis Gas Asap dengan Aparatus Orsat

Untuk mengecek efisiensi pembakaran boiler, adalah perlu untuk menentukan kandungan gas asap. Analisis ini dilakukan dengan bantuan aparatus *Orsat* seperti terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Aparatur Orsat.

Aparatus ini terdiri dari tabung gelas pengukur *D* dan tiga botol *A*, *B*, dan *C*, yang masing-masingnya mengandung zat kimia yang berbeda yang berguna untuk menyerap karbon dioksida, karbon monoksida dan oksigen. Botol *E* bisa

digerakkan naik turun sesuai keinginan, untuk mendapatkan efek hisap atau tekan pada sampel gas asap.

Botol *A* berisi larutan *Cuprous chloride* (Cu_2Cl_2) didalam asam hydrochlorik (HCl). Larutan ini menyerap karbon monoksida. Botol *B* berisi *caustic soda* (NaOH) dan asam *pyrogalllic* yang menyerap oksigen dari sampel. Botol *C* juga mengandung caustic soda dan digunakan untuk menyerap karbon dioksida.

Sampel gasasap pertama-tama dihisap ke gelas pengukur dan volumenya dicatat. Biasanya sekitar 100 liter. Gas asap masuk ke botol *A*, *B* atau *C* dengan membuka katup *a*, *b* atau *c* Gas asap dibiarkan selama beberapa saat dan kemudian dihisap kembali ke tabung gelas *D*. Zat kimia di ketiga botol akan menyerap gas karbon dioksida, dan karbon monoksida dan pengurangan volume ini bisa menentukan persentase masing masing gas yang ada di sampelyang terbaca pada tabung pengukur *D*.

DAFTAR PUSTAKA

1. Michael J. Moran, HN. Shapiro. *Fundamentals Of Engineering Thermodynamics.*, 2th edition. John Wiley and Son, 1993.
2. R.S. Khurmi. *A Text Book of Mechanical Technology, Thermal Engineering.* S. Chand & Company LTD, 1995.
3. Bernard D. Wood, terj. Zulkifli Harahap. *Penerapan termodinamika, edisi kedua, jilid 2.* Erlangga 1987.