

Edisi Kedua

SIFAT-SIFAT
BENDALIR
PETROLEUM

WILLIAM D. McCAIN, JR.

Penterjemah
Muhammad A. Manan
Ariff Othman
Azmi Mohd Arshad
Issham Ismail
Azman Ikhsan

Penerbit
Universiti Teknologi Malaysia
Skudai
Johor Darul Ta'zim
1997

Authorized translation from English language edition published by
PennWell Book Division.

© Edisi bahasa Malaysia dipegang oleh Universiti Teknologi Malaysia, 1997

Hak cipta terpelihara. Tiada dibenarkan mengeluarkan ulang mana-mana bahagian artikel, ilustrasi, dan isi kandungan buku ini dalam apa jua bentuk dan cara apa jua sama ada dengan cara elektronik, fotokopi, mekanik, atau cara lain sebelum mendapat izin bertulis daripada Timbalan Naib Canselor (Pembangunan), Universiti Teknologi Malaysia, Kampus Sekudai, 80990 Johor Darul Ta'zim, Malaysia. Perundingan tertakluk kepada perkiraan royalti atau honorarium.

Perpustakaan Negara Malaysia Data Pengkatalogan-dalam-Penerbitan

McCain, William D., 1933-

Sifat-sifat bendalir petroleum/William D. McCain, Jr.; diterjemah oleh Muhammad A. Manan. . [et al]. - Ed. ke-2.

Mengandungi rujukan bibliografi dan indeks

ISBN 983-52-0081-5

1. Petroleum. 2. Natural gas. 3. Oil reservoir engineering. I. Muhammad A. Manan II. Judul.
665.5

Penyunting: Ariffin Samsuri
Kulit: Zalawati Sufian

Diatur huruf oleh / *Typeset by*
PANTAS SET SDN. BHD.,
No. 26A, Jalan Pandan 2/1,
PANDAN JAYA, CHERAS
55100 KUALA LUMPUR

Diterbitkan di Malaysia oleh / *Published in Malaysia by*
PENERBIT UTM,
80990 Sekudai, Johor Bahru,
Johor Darul Ta'zim, MALAYSIA.

Dicetak di Malaysia oleh / *Printed in Malaysia by*
GAMES FACTORY SDN. BHD.
17, JALAN BAYU 2/3
Taman Perindustrian Tampoi Jaya
81200 Johor Darul Ta'zim,
MALAYSIA.

RM45.00

Kandungan

Tatanama Prakata

| | |
|--|----------|
| 1. Komponen Bendalir Petroleum yang Terjadi Secara Semula Jadi | 1 |
| Kimia Organik | 3 |
| <i>Teori Struktur – Ikatan Kimia – Penamaan Kimia Organik – Hidrokarbon – Siri Homolog</i> | |
| Alkana | 12 |
| <i>Tatanama Alkana – Sifat-sifat Fizikal dan Sifat-sifat Kimia Alkana</i> | |
| Alkena | 19 |
| <i>Tatanama Alkena – Sifat-sifat Fizikal dan Sifat-sifat Kimia Alkena</i> | |
| Alkadiena, Alkatriena, dan Alkatetraena | 23 |
| Alkina | |
| <i>Tatanama Alkina – Sifat-sifat Fizikal dan Sifat-sifat Kimia Alkina</i> | |
| Hidrokarbon sikloalifatik | 25 |
| <i>Sikloalkana – Gelang Terpeluwap – Sikloalkena dan Sikloalkadiena</i> | |
| Aromatik | 29 |
| <i>Benzena – Ikatan Benzena – Tatanama Hidrokarbon Aromatik – Sifat-sifat Fizikal dan Sifat-sifat Kimia Hidrokarbon Aromatik</i> | |
| Sikloalkanoaromatik | 33 |
| Sebatian Organik Lain | 35 |

| | |
|---|-----------|
| Komponen Bukan Hidrokarbon Petroleum | 37 |
| <i>Sebatian Sulfur – Sebatian Oksigen – Sebatian Nitrogen – Sebatian Organologam</i> | |
| Damar dan Asfaltena | 41 |
| Pengelasan Minyak Mentah | 42 |
| <i>Pengelasan Fizikal – Pengelasan Kimia</i> | |
| Latihan | 44 |
| Rujukan Umum | 46 |
| <hr/> | |
| 2 Tingkah Laku Fasa | 49 |
| Bahan Tulen | 51 |
| <i>Gambar Rajah Fasa Bahan Tulen – Kegunaan Gambar Rajah Fasa – Tekanan Wap Bahan Tulen – Gambar Rajah Tekanan-Isipadu Bahan Tulen – Gambar Rajah Ketumpatan-Suhu Bahan Tulen</i> | |
| Campuran Dua Komponen | 64 |
| <i>Gambar Rajah Fasa Campuran Dua Komponen – Gambar Rajah Tekanan-Isipadu Campuran Dua Komponen – Gambar Rajah Kerencaman</i> | |
| Campuran Tiga Komponen | 78 |
| <i>Gambar Rajah Pertigaan – Gambar Rajah Fasa Tiga Komponen – Kegunaan Gambar Rajah Pertigaan</i> | |
| Campuran Berbilang Komponen | 86 |
| Latihan | 89 |
| Rujukan | 93 |
| <hr/> | |
| 3 Persamaan Keadaan | 95 |
| Gas Unggul | 95 |
| <i>Persamaan Boyle – Persamaan Charles – Hukum Avogadro – Persamaan Keadaan untuk Gas Unggul – Ketumpatan Gas Unggul – Teori Kinetik bagi Gas</i> | |
| Campuran Gas Unggul | 105 |
| <i>Hukum Dalton untuk Tekanan Separa – Hukum Amagat untuk Isipadu Separa – Berat Molekul Setara Campuran Gas – Graviti Tentu Gas</i> | |
| Tingkah Laku Gas Nyata | 109 |
| <i>Persamaan Keadaan Kebolehmampatan – Hukum Keadaan Sepadan – Persamaan Keadaan Kebolehmampatan untuk Campuran Gas</i> | |
| Latihan | 128 |

| | |
|--|------------|
| <i>Kandungan</i> | vii |
| Rujukan | 134 |
| <hr/> | |
| 4 Persamaan Keadaan Lain bagi Gas Nyata | 135 |
| Persamaan Keadaan van der Waals | 135 |
| Persamaan Keadaan Lain Berasaskan van der Waals | 136 |
| Persamaan Keadaan pada Takat Genting | 137 |
| Persamaan Keadaan Virial | 138 |
| Persamaan Keadaan Beattie-Bridgeman | 139 |
| Persamaan Keadaan Benedict-Webb-Rubin | 143 |
| Perkembangan Terkini dalam Persamaan Keadaan | 145 |
| <i>Persamaan Keadaan Redlich-Kwong – Persamaan Keadaan Peng-Robinson – Peraturan Pencampuran</i> | |
| Latihan | 150 |
| Rujukan | 151 |
| Rujukan Umum | 152 |
| <hr/> | |
| 5 Lima Jenis Bendalir Reserbor | 153 |
| Gambar Rajah Fasa Berbilang Komponen | 154 |
| Lima Jenis Bendalir Reserbor | 154 |
| <i>Pengenalpastian Jenis Bendalir</i> | |
| Minyak Hitam | 155 |
| <i>Gambar Rajah Fasa Minyak Hitam – Ulasan – Pengenalpastian Minyak Hitam di Medan – Analisis Makmal Minyak Hitam</i> | |
| Minyak Meruap | 158 |
| <i>Gambar Rajah Fasa Minyak Meruap – Ulasan – Pengenalpastian Minyak Meruap di Medan – Analisis Makmal Minyak Meruap</i> | |
| Gas Songsang | 160 |
| <i>Gambar Rajah Fasa Gas Songsang – Pengenalpastian Gas Songsang di Medan – Analisis Makmal Gas Songsang – Ulasan</i> | |
| Gas Basah | 162 |
| <i>Gambar Rajah Fasa Gas Basah – Ulasan – Pengenalpastian Gas Basah di Medan</i> | |
| Gas Kering | 164 |
| <i>Gambar Rajah Fasa Gas Kering – Ulasan</i> | |
| Latihan | 165 |
| Rujukan | 171 |
| <hr/> | |

| | | |
|----------|---|------------|
| 6 | Sifat-sifat Gas Kering | 173 |
| | Keadaan Piawai | 173 |
| | Gas Kering | 175 |
| | <i>Faktor Isipadu Formasi Gas – Pekali Kebolehmampatan</i> | |
| | <i>Sesuhu Gas – Pekali Kelikatan Gas</i> | |
| | Nilai Pemanasan | 194 |
| | Kesan Joule-Thomson | 198 |
| | Latihan | 199 |
| | Rujukan | 201 |
| <hr/> | | |
| 7 | Sifat-sifat Gas Basah | 203 |
| | Gabungan Semula Bendalir Permukaan – Kerencaman Diketahui | 203 |
| | <i>Kerencaman Permukaan Diketahui – Kerencaman Pemisah Diketahui</i> | |
| | Gabungan Semula Bendalir Permukaan – Kerencaman Tidak Diketahui | 208 |
| | <i>Sifat-sifat Gas Pemisah dan Bolong Tangki Stok Diketahui – Sifat-sifat Gas Tangki Stok Tidak Diketahui</i> | |
| | Faktor Isi Padu Formasi Gas Basah | 217 |
| | <i>Kerencaman Di Permukaan Diketahui – Kerencaman Tidak Diketahui</i> | |
| | Bahan Keluaran Loji | 221 |
| | Gas Songsang | 223 |
| | Latihan | 223 |
| | Rujukan | 228 |
| <hr/> | | |
| 8 | Sifat-sifat Minyak Hitam – Takrifan | 229 |
| | Graviti Tentu Cecair | 229 |
| | Faktor Isi Padu Formasi Minyak | 230 |
| | Nisbah Gas-Minyak Larutan | 232 |
| | Jumlah Faktor Isi Padu Formasi | 234 |
| | Pekali Kebolehmampatan Sesuhu Minyak | 236 |
| | <i>Tekanan di atas Tekanan Takat Gelembung – Tekanan di bawah Tekanan Takat Gelembung</i> | |
| | Pekali Kelikatan Minyak | 241 |
| | Pekali Pengembangan Haba Setekanan Cecair | 242 |
| | Tegangan Antara Muka | 243 |
| | Minyak Meruap | 245 |

| | |
|---|------------|
| <i>Kandungan</i> | ix |
| Latihan | 246 |
| Rujukan | 250 |
| <hr/> | |
| 9 Sifat-sifat Minyak Hitam – Data Medan | 251 |
| Reserbor Minyak Hitam – Tekanan Reserbor Awal | 251 |
| Reserbor Minyak Hitam – Haluan Pengeluaran Gas | 252 |
| Reserbor Minyak Hitam – Haluan Tekanan | 252 |
| <i>Sifat-sifat Bendalir dari Sejarah Pengeluaran-Tekanan</i> | |
| Penyelarasan Data Gas Permukaan | 256 |
| Minyak Meruap | 257 |
| Gas Songsang | 257 |
| Latihan | 258 |
| Rujukan | 260 |
| <hr/> | |
| 10 Sifat-sifat Minyak Hitam – Kajian Bendalir Reserbor | 261 |
| Pengumpulan Sampel Minyak Reserbor | 262 |
| Kajian Bendalir Reserbor | 262 |
| <i>Kerencaman – Pengewapan Kilat – Pengewapan Kebezaan – Ujian Pemisah – Kelikatan Minyak – Kelikatan Gas</i> | |
| Sifat-sifat Bendalir Reserbor daripada Kajian Bendalir Reserbor | 284 |
| <i>Pemilihan Keadaan Pemisah – Faktor Isi Padu Formasi Minyak – Nisbah Gas-Minyak Larutan – Faktor Isi Padu Formasi Gas – Jumlah Faktor Isi Padu Formasi – Kelikatan – Pekali Kebolempantasan Sesuhu Minyak</i> | |
| Latihan | 296 |
| Rujukan | 299 |
| <hr/> | |
| 11 Sifat-sifat Minyak Hitam – Sekaitan | 301 |
| Tekanan Takat Gelembung | 301 |
| Nisbah Gas-Minyak Larutan | 302 |
| Ketumpatan Cecair | 303 |
| <i>Pengiraan Ketumpatan Cecair dengan Menggunakan Prinsip Larutan Unggul – Pengiraan Ketumpatan Cecair Reserbor pada Tekanan Ketepuan dengan Menggunakan Prinsip Larutan Unggul – Pengiraan Ketumpatan Cecair Reserbor pada Tekanan di atas Tekanan Takat Gelembung</i> | |
| Faktor Isi Padu Formasi Minyak | 322 |
| <i>Anggaran Faktor Isi Padu Formasi Minyak pada Tekanan Ketepuan dengan Menggunakan Prinsip Larutan Unggul –</i> | |

| | |
|--|------------|
| <i>Penganggaran Faktor Isi Padu Minyak Pada Tekanan Ketepuan Secara Sekaitan – Penganggaran Faktor Isi Padu Formasi pada Tekanan di atas Tekanan Takat Gelembung</i> | |
| Penyelarasan Faktor Isi Padu Formasi Minyak dan Nisbah Gas-Minyak Larutan untuk Tekanan Takat Gelembung Terbitan Lapangan | 327 |
| Faktor Isi Padu Formasi Takat Keseluruhan | 328 |
| Pekali Kebolehmampatan Sesuhu untuk Minyak | 331 |
| <i>Pekali Kebolehmampatan Sesuhu Minyak pada Tekanan di atas Tekanan Takat Gelembung – Pekali Kebolehmampatan Sesuhu pada Tekanan di bawah Tekanan Takat Gelembung</i> | |
| Pekali Kelikatan Minyak | 334 |
| <i>Penganggaran Kelikatan Minyak pada dan di bawah Tekanan Takat Gelembung – Penganggaran Kelikatan Minyak pada Tekanan di atas Tekanan Takat Gelembung</i> | |
| Tegangan Antara Muka | 339 |
| <i>Tegangan Antara Muka Cecair-Gas, Bahan Asli – Tegangan Antara Muka Cecair-Gas, Campuran Hidrokarbon</i> | |
| Latihan | 344 |
| Rujukan | 350 |
| <hr/> | |
| 12 Keseimbangan Gas-Cecair | 353 |
| Larutan Unggul | 354 |
| <i>Persamaan Raoult – Persamaan Dalton – Kerencaman dan Kuantiti Keseimbangan Fasa Gas dan Fasa Cecair Larutan Unggul – Pengiraan Tekanan Takat Gelembung Larutan Cecair Unggul – Pengiraan Tekanan Takat Embun Larutan Gas Unggul</i> | |
| Larutan Tak Unggul | 360 |
| <i>Kerencaman dan Kuantiti Keseimbangan Fasa Gas dan Fasa Cecair Larutan Nyata – Pengiraan Tekanan Titik Gelembung Cecair Nyata – Pengiraan Tekanan Titik Embun Gas Nyata</i> | |
| Pengewapan Kilat | 369 |
| Pengewapan Kebezaan | 369 |
| <i>Tatacara Pengiraan, Tekanan Akhir Diketahui – Tatacara Pengiraan, Bilangan Mol yang akan Mengewap diketahui</i> | |
| Latihan | 376 |
| Rujukan | 380 |
| <hr/> | |

| | |
|---|------------|
| <i>Kandungan</i> | xi |
| 13 Pemisahan Permukaan | 381 |
| Pengiraan Pemisah Permukaan untuk Minyak Hitam | 381 |
| Pengiraan Pemisah untuk Jenis Bendalir Reserbor yang Lain | 391 |
| Faktor-K untuk Pengiraan Pemisah | 392 |
| Latihan | 393 |
| Rujukan | 401 |
| <hr/> | |
| 14 Sekaitan Nisbah Keseimbangan | 403 |
| Tekanan Penumpuan | 404 |
| <i>Takrifan Tekanan Penumpuan – Penganggaran Tekanan Penumpuan</i> | |
| Kesan Nilai Tak Tepat Nisbah Keseimbangan | 412 |
| Mengsekatkan dan Melicinkan Faktor-K | 414 |
| Latihan | 420 |
| Rujukan | 422 |
| <hr/> | |
| 15 Pengiraan Keseimbangan Gas-Cecair dengan Menggunakan Persamaan Keadaan | 423 |
| Bahan-bahan Tulen | 423 |
| <i>Keupayaan Kimia – Fugasiti – Pekali Fugasiti – Contoh Pengiraan Keadaan untuk Bahan Tulen</i> | |
| Bahan Campuran | 430 |
| <i>Keupayaan Kimia – Fugasiti – Pekali Fugasiti – Contoh Pengiraan Keadaan untuk Campuran</i> | |
| Latihan | 441 |
| Rujukan | 442 |
| Rujukan Umum | 443 |
| <hr/> | |
| 16 Sifat-Sifat Medan Minyak | 445 |
| Komposisi Air Medan Minyak | 445 |
| Tekanan Takat Gelembung Air Medan Minyak | 451 |
| Faktor Isi Padu Air Medan Minyak | 452 |
| Ketumpatan Air Medan Minyak | 456 |
| Kebolehlarutan Gas Asli dalam Air | 457 |
| Pekali Kebolehmampatan Sesuhu Air | 459 |
| <i>Pekali Kebolehmampatan Sesuhu Air pada Tekanan di atas Takat Gelembung – Pekali Kebolehmampatan Sesuhu Air pada Tekanan di bawah Takat Gelembung</i> | |

| | |
|---|------------|
| Pekali Kelikatan Air Medan Minyak | 463 |
| Kebolehlarutan Air dalam Gas Asli | 464 |
| Kebolehlarutan Air dalam Cecair Hidrokarbon | 470 |
| Keberintangan Air Medan Minyak | 471 |
| Tegangan Antara Muka | 473 |
| <i>Tegangan Antara Muka Air-Gas Hidrokarbon – Tegangan Antara Muka Air-Cecair Hidrokarbon</i> | |
| Latihan | 474 |
| Rujukan | 479 |
| Rujukan Umum | 480 |
| <hr/> | |
| 17 Hidrat Gas | 481 |
| Pembentukan Hidrat Gas | 481 |
| Keadaan bagi Pembentukan Hidrat Gas | 482 |
| Perencatan Pembentukan Hidrat Gas | 488 |
| Pembentukan Hidrat Gas Disebabkan oleh Penurunan Tekanan | 490 |
| Latihan | 492 |
| Rujukan | 495 |
| Rujukan Umum | 496 |
| Lampiran A | 497 |
| Lampiran B | 517 |
| Indeks | 541 |

Komponen Bendalir Petroleum yang Terjadi Secara Semula Jadi

Mendapan petroleum yang terjadi secara semula jadi yang dihadapi oleh jurutera petroleum terdiri daripada bahan-bahan kimia organik. Sekiranya campuran kimia ini terdiri daripada molekul-molekul kecil, maka ia adalah gas pada suhu dan tekanan biasa. Kerencaman gas-gas hidrokarbon yang terjadi secara semula jadi diberikan dalam Jadual 1-1.

Sekiranya campuran mengandungi molekul-molekul yang lebih besar, maka ia adalah cecair pada suhu dan tekanan normal. Minyak mentah tipikal mengandungi beribu-ribu sebatian kimia yang berbeza-beza, dan percubaan untuk memisahkannya kepada bahan kimia yang berlainan adalah tidak pratikal. Dengan itu, biasanya minyak mentah dipisahkan kepada pecahan-pecahan minyak berdasarkan kepada julat takat didih sebatian-sebatian yang terdapat dalam setiap pecahan. Senarai pecahan tipikal hasil daripada pemisahan minyak mentah diberikan dalam Jadual 1-2.

Minyak mentah dikelaskan secara kimia berdasarkan kepada struktur molekul-molekul besar dalam campuran. Kaedah pengelasan menggunakan gabungan perkataan seperti parafinik, naftanik, aromatik, dan asfaltik. Sebagai contoh, minyak mentah yang mengandungi molekul-molekul parafin sebagai komponen utama akan menghasilkan minyak pelinciran yang sangat halus daripada pecahan gas-minyak dan lilin parafin daripada minyak baki. Sebaliknya, jika molekul-molekul besar adalah aromatik dan asfaltik, maka pecahan-pecahan minyak mentah yang lebih berat adalah sesuai digunakan untuk lantai, sebatian atap, asfalt penurapan dan kegunaan lain yang seumpamanya.

Cecair yang diperoleh daripada reserbor petroleum yang berlainan mempunyai ciri-ciri yang berbeza. Ada antaranya hitam, berat, dan likat, seperti tar, dan yang lain-lainnya pula adalah coklat atau hampir-hampir jernih dengan kelikatan dan graviti tentu yang rendah. Bagaimanapun, hampir semua cecair petroleum yang terjadi secara semula jadi mempunyai

JADUAL 1-1
Komponen gas-gas petroleum tipikal

| Gas Asli | |
|--|---|
| Hidrokarbon | |
| Metana | 70-98% |
| Etana | 1-10% |
| Propana | jejak-5% |
| Butana | jejak-2% |
| Pentana | jejak-1% |
| Heksana | jejak- $\frac{1}{2}$ % |
| Heptana + | jejak- $\frac{1}{2}$ % |
| Bukan hidrokarbon | |
| Nitrogen | jejak-15% |
| Karbon dioksida* | jejak-5% |
| Hidrogen sulfida* | jejak-3% |
| Helium | sehingga 5%, biasanya jejak, atau tiada |
| * Kadang-kala gas asli dijumpai mengandungi terutamanya karbon dioksida atau hidrogen sulfida. | |
| Gas daripada telaga minyak | |
| Hidrokarbon | |
| Metana | 45-92% |
| Etana | 4-21% |
| Propana | 1-15% |
| Butana | $\frac{1}{2}$ -7% |
| Pentana | sangat sedikit-3% |
| Heksana | sangat sedikit-2% |
| Heptana + | sangat sedikit- $1\frac{1}{2}$ % |
| Bukan Hidrokarbon | |
| Nitrogen | sangat sedikit - sehingga 10% |
| Karbon dioksida | sangat sedikit-4% |
| Hidrogen sulfida | sangat sedikit-6% |
| Helium | tiada |

analisis unsur dalam lingkungan julat yang diberikan dalam Jadual 1-3.

Ketekalan ini tidaklah memeranjatkan: perlu diingat bahawa molekul-molekul kimia organik terdiri daripada beberapa struktur yang dibina kebanyakannya oleh kumpulan CH_2 .

Oleh kerana jurutera petroleum melibatkan kerjanya dengan campuran kimia organik, maka perlulah ia memahami pelbagai jenis sebatian organik yang membentuk campuran tersebut. Ia perlu tahu tentang

JADUAL 1-2
Pecahan-pecahan minyak mentah tipikal

| Pecahan minyak mentah | Takat didih, °F (Takat lebur) | Anggaran kerencaman kimia | Kegunaan |
|-----------------------|-------------------------------|--|--|
| Gas hidrokarbon | sehingga 100 | C ₁ -C ₂ C ₃ -C ₆ | gas bahan api gas bahan api terbotol, pelarut |
| Gasolin | 100-350 | C ₅ -C ₁₀ | bahan api motor, pelarut |
| Kerosin | 350-480 | C ₁₁ -C ₁₃ | bahan api jet, stok pemecahan |
| Minyak gas ringan | 450-480 | C ₁₃ -C ₁₇ | bahan api diesel, bahan api ketuhar |
| Minyak gas berat | 580-750 | C ₁₈ -C ₂₅ | minyak pelinciran, bahan api bunker |
| Pelincir dan lilin | 750-950 (100) | C ₂₆ -C ₃₈ | minyak pelinciran lilin parafin, jeli petroleum |
| Minyak baki | 950+ (200+) | C ₃₈ + | Tar, sebatian atap, asfalt penurat, kok, pengawet kayu |

JADUAL 1-3
Analisis unsur minyak mentah tipikal

| Unsur | Peratus |
|----------|----------|
| Karbon | 84-87 |
| Hidrogen | 11-14 |
| Sulfur | 0.06-2.0 |
| Nitrogen | 0.1-2.0 |
| Oksigen | 0.1-2.0 |

tatanama, hubungannya antara satu dengan yang lain, darjah kemeruwapannya, dan darjah keaktifannya. Dengan itu, kajian kita terhadap sifat-sifat bendalir reserbor dimulakan dengan mengulang kaji tingkah laku sebatian-sebatian yang membentuk campuran petroleum yang terjadi secara semula jadi.