

SISTEM EMULSI DAN MIKROEMULSI

PENDEKATAN FUNDEMENTAL DAN APLIKASI

DALAM PEROLEHAN MINYAK TINGKAT LANJUT



Dr. Ir. Rini Setiati, MT
Aqlyna Fattahanisa, ST, MT
Dr. Eng. Shabrina Sri Riswati, ST



**SISTEM EMULSI DAN MIKROEMULSI:
PENDEKATAN FUNDAMENTAL DAN
APLIKASI DALAM PEROLEHAN
MINYAK TINGKAT LANJUT**

Sanksi Pelanggaran Pasal 113

Undang-Undang No. 28 Tahun 2014 Tentang Hak Cipta

1. Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp 100.000.000 (seratus juta rupiah).
2. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp 500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).
3. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf a, huruf b, huruf e, dan/atau huruf g untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 4 (empat) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp 1.000.000.000,00 (satu miliar rupiah).
4. Setiap Orang yang memenuhi unsur sebagaimana dimaksud pada ayat (3) yang dilakukan dalam bentuk pembajakan, dipidana dengan pidana penjara paling lama 10 (sepuluh) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp 4.000.000.000,00 (empat miliar rupiah).

SISTEM EMULSI DAN MIKROEMULSI: PENDEKATAN FUNDAMENTAL DAN APLIKASI DALAM PEROLEHAN MINYAK TINGKAT LANJUT

Dr. Ir. Rini Setiati, MT

Aqlyna Fattahanisa, ST, MT

Dr. Eng. Shabrina Sri Riswati, ST



GREENBOOK

Specialist International Standard Book Publishing

SISTEM EMULSI DAN MIKROEMULSI: PENDEKATAN FUNDAMENTAL DAN APLIKASI DALAM PEROLEHAN MINYAK TINGKAT LANJUT

Penulis:

Dr. Ir. Rini Setiati, MT
Aqlyna Fattahanisa, ST, MT
Dr. Eng. Shabrina Sri Riswati, ST

Perancang Sampul:

Restu Jahira Dhawi Mughni

Penata Letak:

Ida Farida

Editor:

Ida Farida

ISBN: 978-634-7542-50-2

Hak Cipta 2026, Pada penulis

Hak Cipta Dilindungi Oleh Undang-Undang

Copyright © 2026

by Penerbit CV. Greenbook publishing Indonesia

All Right Reserved

Dilarang keras menerjemahkan, memfotokopi, atau memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini tanpa izin tertulis dari Penerbit.

PENERBIT:

by Penerbit CV. Greenbook publishing Indonesia
Jl. Sultan Ageng Tirtayasa No.12 Kedajaya, Kec. Kedawung
Kabupaten Cirebon, Jawa Barat 45611

PRAKATA

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan buku referensi yang berjudul **SISTEM EMULSI DAN MIKROEMULSI: PENDEKATAN FUNDAMENTAL DAN APLIKASI DALAM PEROLEHAN MINYAK TINGKAT LANJUT**. Buku ini disusun sebagai sebuah upaya untuk menyajikan sintesis pengetahuan yang komprehensif mengenai prinsip-prinsip fisikokimia sistem dispersi cair-cair dan implementasinya dalam teknologi *Enhanced Oil Recovery* (EOR). Materi yang dibahas mencakup spektrum yang luas, mulai dari konsep termodinamika dan kinetika antarmuka, peran strategis surfaktan, hingga aplikasi pemodelan komputasional dalam optimasi formulasi mikroemulsi. Kehadiran buku ini diharapkan mampu menjadi sumber rujukan utama bagi para mahasiswa, peneliti, praktisi industri, dan akademisi yang mendalami bidang teknik perminyakan, teknik kimia, dan ilmu material.

Proses penyusunan buku ini tidak terlepas dari dukungan berbagai pihak. Penulis mengucapkan terima kasih yang tulus kepada kolega-kolega di [Nama Departemen/Fakultas], [Nama Universitas] atas diskusi-diskusi ilmiah yang produktif dan memberikan banyak inspirasi. Apresiasi juga penulis sampaikan kepada para peneliti yang karya-karyanya menjadi rujukan utama dalam buku ini, yang telah membangun fondasi pengetahuan yang kokoh di bidang ini. Tidak lupa, penulis berterima kasih kepada keluarga yang senantiasa memberikan dukungan moral dan spiritual yang tak ternilai selama proses penulisan.

Penulis menyadari bahwa buku ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, segala bentuk kritik, saran,

dan masukan yang membangun dari para pembaca akan diterima dengan tangan terbuka untuk perbaikan pada edisi-edisi mendatang. Semoga buku ini dapat memberikan kontribusi yang signifikan bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, khususnya dalam optimalisasi sumber daya energi secara berkelanjutan.

Jakarta, Mei 2026

Penulis

KATA PENGANTAR

Dunia industri perminyakan modern dihadapkan pada tantangan ganda: menurunnya produksi dari reservoir-reservoir konvensional dan meningkatnya permintaan energi global. Kondisi ini mendorong inovasi teknologi untuk memaksimalkan perolehan hidrokarbon dari dalam reservoir, sebuah domain yang dikenal sebagai *Enhanced Oil Recovery* (EOR). Di antara berbagai metode EOR, injeksi kimia yang melibatkan sistem emulsi dan mikroemulsi menempati posisi strategis karena kemampuannya memobilisasi minyak yang terperangkap dalam pori-pori batuan secara efisien. Pemahaman mendalam mengenai perilaku sistem dispersi ini pada skala molekuler dan makroskopis menjadi kunci keberhasilan implementasinya di lapangan.

Buku referensi ini dirancang untuk menjembatani antara teori fundamental ilmu koloid dan antarmuka dengan aplikasi praktisnya dalam industri migas. Pembahasan tidak hanya berhenti pada definisi konseptual, tetapi juga mengupas tuntas mekanisme fisikokimia yang mendasarinya. Mulai dari analisis stabilitas termodinamika, rekayasa molekul surfaktan, interpretasi diagram fase terner, hingga dinamika fluida non-Newtonian dalam media berpori, setiap topik disajikan secara sistematis dan analitis. Buku ini juga diperkaya dengan pembahasan mengenai instrumentasi modern untuk karakterisasi emulsi dan pemanfaatan simulasi komputasional sebagai alat bantu desain dan optimasi.

Tujuan utama dari buku ini adalah untuk membekali pembaca dengan kerangka pengetahuan yang solid dan terintegrasi. Mahasiswa akan menemukan dasar-dasar teori yang kuat, para peneliti dapat mengidentifikasi celah riset

dan arah pengembangan keilmuan di masa depan, sementara para praktisi industri dapat memanfaatkan wawasan dari buku ini untuk merancang strategi EOR yang lebih efektif dan ekonomis. Dengan memadukan prinsip-prinsip dasar dan teknologi terkini, diharapkan buku ini menjadi panduan yang otoritatif dan relevan dalam menghadapi tantangan industri energi di masa kini dan mendatang.

Selamat membaca dan mendalami dunia sistem dispersi yang kompleks dan menantang.

Prof. Ir. Muh. Taufiq Fathaddin, MT, PhD, IPU

DAFTAR ISI

PRAKATA	i
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	viii
BAB 1	1
Pendahuluan dan Filosofi Sistem Dispersi	1
A. Tinjauan Umum Sistem Dispersi Cair-cair	4
B. Peran Strategis Surfaktan dalam Rekayasa Antarmuka...	14
C. Karakteristik Afinitas: Hidrofilik dan Hidrofobik	22
BAB 2	31
Taksonomi Emulsi dan Pemodelan Diagram Fasa Terner ..	31
A. Evolusi Jenis dan Struktur Emulsi	33
B. Analisis Diagram Fasa Terner dalam Pembentukan Emulsi.....	42
BAB 3	52
Integrasi Mikroemulsi dengan Parameter Fisika Reservoir	52
A. Eksplorasi Fenomena Mikroemulsi.....	54
B. Dinamika Tekanan Kapiler dan Sudut Kontak	63
C. Fenomena Ultra-Low IFT dan Perubahan Wetabilitas .	70
BAB 4	78
Mekanisme dan Diversifikasi Aplikasi Mikroemulsi.....	78
A. Kinetika dan Mekanisme Pembentukan Mikroemulsi	80

B. Aplikasi Lintas Sektoral Mikroemulsi	89
BAB 5	97
Implementasi Mikroemulsi pada Enhanced Oil Recovery (EOR).....	97
A. Analisis Kinerja Sistem Injeksi Surfaktan-Mikroemulsi...	99
B. Evaluasi Hasil Perolehan Minyak (Incremental Oil Recovery)	107
BAB 6	117
Dinamika Stabilitas dan Teknik Destabilisasi Emulsi.....	117
A. Studi Mekanisme Degradasi Emulsi.....	119
B. Faktor Penentu Stabilitas Antarmuka.....	125
C. Teknologi Demulsifikasi dalam Produksi Minyak Bumi.	132
BAB 7	140
Pengaruh Variabel Eksternal: Salinitas dan Suhu	140
A. Interaksi Salinitas dan Elektrolit dalam Sistem Emulsi....	142
B. Ketahanan Termal Sistem Emulsi	152
C. Manajemen Salinitas dan Strategi Pre-flush.....	159
BAB 8	169
Reologi dan Transportasi Emulsi dalam Media Berpori.....	169
A. Analisis Aliran Fluida Non-Newtonian.....	171
B. Mekanisme Transportasi Emulsi dalam Matriks Reservoir	181
C. Metodologi Pengukuran Rheologi Emulsi	188
BAB 9	199
Instrumentasi Analitik dan Karakterisasi Emulsi	199
A. Karakterisasi Distribusi Ukuran Partikel.....	202

B. Metodologi Pengukuran Tegangan Antarmuka (IFT) Ekstrem.....	212
C. Analisis Zeta Potential dan Stabilitas Koloid	218
BAB 10.....	228
Pemodelan Komputasional dan Simulasi Sistem Emulsi ...	228
A. Pemodelan Termodinamika dan Kestimbangan Fase	230
B. Simulasi Numerik Reservoir pada Injeksi Kimia.....	239
C. Inovasi Digital: Machine Learning dalam Desain Formulasi	245
GLOSARIUM	252
DAFTAR PUSTAKA.....	267
BIOGRAFI	278

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Skema berbagai jenis emulsi beserta komposisinya (Tian 2022)	5
Gambar 2. Diagram skematik profil energi bebas mikroemulsi dan nanoemulsi (McClements, D.J, 2012)	9
Gambar 3. Tipe dan ukuran diameter tetesan tipikal dari makroemulsi, nanoemulsi, dan mikroemulsi beserta penampilan visualnya (Gupta et al., 2016).....	12
Gambar 4. Skema struktur molekul amfifilik yang terdiri dari gugus kepala hidrofilik (polar) dan ekor hidrofobik (rantai hidrokarbon non-polar) (Sharifi-Rad et al., 2022).....	18
Gambar 5. (a) Gambaran skematis klasifikasi surfaktan dan (b) struktur molekul surfaktan representatif yang banyak digunakan dalam sintesis nanopartikel (NP) berbasis mikroemulsi (Sihiri et al., 2019)	20
Gambar 6. Emulsi minyak-dalam-air (O/W) dan air-dalam-minyak (W/O) (Ana, 2022)	34
Gambar 7. Multiple emulsions air-dalam-minyak-dalam-air (W/O/W) atau minyak-dalam-air-dalam-minyak (O/W/O) (Alicja, 2016)	35
Gambar 2.3 Prinsip kerja dan alat high-pressure homogenizers.....	36
Gambar 8. Ultrasonicators.....	36
Gambar 9. Distingsi Makroemulsi, Nanoemulsi, dan Mikroemulsi	41
Gambar 10. Diagram Ternary pada sistem air- surfaktan - minyak (Yusoff, 2021).....	44
Gambar 11. Region Fasa dalam diagram Ternary (Ramos-Sánchez, 2011)	45
Gambar 12. Contoh Gibbs Triangle Graph	47

Gambar 13. Kurva binodal pada diagram fasa Terner (Lee, 2023)	48
Gambar 14. Peralihan Winsor Tipe I (mikroemulsi O/W) ke Tipe II (mikroemulsi W/O) (Hu, 2024)	56
Gambar 15. Termodinamika Mikroemulsi (Balmano, 2024)	59
Gambar 16. Aplikasi Teori Winsor (Tipe I - IV) (Leng, 2024)	61
Gambar 17. Solubilisasi Hidrokarbon dalam Struktur Misel (Dwivedi, 2021)	62
Gambar 20. Mekanisme tekanan kapiler pada pori batuan (Weng, 2024).....	67
Gambar 21. Sudut kontak pada antar muka cair-padat.....	69
Gambar 22. Histeresis Wetabilitas dan Retensi Cairan dalam Matriks Batuan (Konyai, 2009).....	70
Gambar 23. Distribusi molekul surfaktan dalam larutan pada konsentrasi (a) di bawah dan (b) di atas CMC. (Sheng, 2011)	82
Gambar 24. Representasi skematik dari mikroemulsi (a) O/W dan (b) W/O. Diadaptasi dari Enhanced Oil Recovery, oleh L. W. Lake, 1984, University of Texas at Austin.	83
Gambar 25. Representasi skematik dari mikroemulsi tipe III. Diadaptasi dari Enhanced Oil Recovery, oleh L. W. Lake, 1984, University of Texas at Austin.....	84
Gambar 26. Pengaruh salinitas pada tipe mikroemulsi. (Sheng, 2011)	88
Gambar 27. Pemindaian salinitas transisi fase mikroemulsi. (Riswati et al., 2020)	102
Gambar 28. IFT dan perolehan minyak terhadap salinitas. (Healy & Reed, 1977a)	103
Gambar 29. Diagram skematik kurva desaturasi kapiler untuk fase pembasah (wetting) dan non-pembasah (nonwetting) (Lake et al., 2014).....	111

Gambar 30. Diagram skematik peralatan eksperimen untuk uji coreflooding. 'ASP' merupakan singkatan dari Alkali-Surfaktan-Polimer dan 'PD' berarti Injeksi Polimer (Polymer Drive). (Riswati et al., 2019)	113
Gambar 31. Korelasi volume fase dan perilaku IFT dengan retensi dan perolehan minyak (Glinsmann, 1979).....	114
Gambar 32. Fenomena instabilitas emulsi O/W.	123
Gambar 33. Representasi Skematik Struktur Lapisan Ganda Elektrik (EDL) dan Profil Potensial pada Permukaan Partikel. (Pate & Safier, 2016)	127
Gambar 34. Representasi Skematik Migrasi Elektroforesis Koloid Bermuatan Negatif dan Penentuan Lokasi Potensial Zeta. (Zasoski, 2008)	131
Gambar 35. Kation yang tertarik ke gugus kepala surfaktan (Cailing, 2024).....	143
Gambar 36. Jenis Microemulsion (Massarweh, 2020)	144
Gambar 37. Konsep Phase Inversion Temperature (PIT) (Dinshaw, 2021).....	145
Gambar 38. Ion divalen (Na^{2+} , Ca^{2+} dan Mg^{2+}) dan Surfaktan (Warmbier-Wytykowska, 2025)	148
Gambar 39. Solubilisasi minyak dan larutan surfaktan dalam fase mikroemulsi (Tan Bui, 2021).....	150
Gambar 40. Fenomena Phase Inversion Temperature (PIT) (Clavreul, 2015)	151
Gambar 41. Kestabilan termal sistem emulsi (Liu, 2022)	153
Gambar 42. Degradasi Termal Komponen Kimia (Albano, 2012)	156
Gambar 43. Pengaruh Panas terhadap Kelarutan dan CMC Surfaktan (Atefeh, 2016)	157
Gambar 44. Salting out dan Salting in (Kamat, 2022).....	160
Gambar 45. Mekanisme pembentukan CMC (Hamberger, 2010)	163

Gambar 46. Adsorpsi ion Ca^{2+} (Zilong, 2021)	164
Gambar 48. Mekanisme adsorpsi pada reservoir karbonat (El-Baz, 2020)	165
Gambar 49. Newtonian dan Non-Newtonian (Botchu, 2013)	172
Gambar 50. Perubahan ukuran tetesan	173
Gambar 51. Aliran dalam proses EOR (Alawode, 2021)	173
Gambar 52. Shear Thinning (Sojoudi, 2013)	175
Gambar 53. Pembentukan agregat sementara (Jeffrey, 2018)	175
Gambar 54. Thixotropy (Jeffrey, 2018)	176
Gambar 55. Plateau Newtonian (More, 2021)	178
Gambar 56. Trapping of emulsion droplets (Gong, 2024) ..	182
Gambar 57. Fenomena flow diversion (Mwangupili, 2025)	184
Gambar 58. Contoh efek residual resistance factor (Liao, 2022)	186
Gambar 59. Efek Diversi Aliran (Flow Diversion) untuk Peningkatan Sweep Efficiency (Ye, 2024)	188
Gambar 60. Spinning drop tensiometer	201
Gambar 61. SEM dan TEM	204
Gambar 62. Cryo-Electron Microscopy (Cryo-EM)	205
Gambar 63. Konsep Ostwald ripening	206
Gambar 64. Prinsip kerja Spektroskopi Korelasi Foton	208
Gambar 65. Konsep kerja Nanoparticle Tracking Analysis (NTA) (Kowkabany, 2024)	209
Gambar 66. Nanoparticle Tracking Analysis (NTA)	209
Gambar 67. Metode pendant drop untuk pengukuran IFT (Fan, 2021)	217
Gambar 68. Wilhemy Plate method untuk pengukuran IFT (Bastian, 2017)	217

Gambar 69. Prinsip Electrophoretic Light Scattering.....	220
Gambar 70. Teknik dasar Electrophoretic Light Scattering	221

SISTEM EMULSI DAN MIKROEMULSI

PENDEKATAN FUNDEMENTAL DAN APLIKASI DALAM PROLEHAN MINYAK TINGKAT LANJUT

SINOPSIS

Buku ****Sistem Emulsi dan Mikroemulsi**** membahas dasar-dasar sistem dispersi cair-cair dan penerapannya dalam perolehan minyak tingkat lanjut. Buku ini menjelaskan bagaimana minyak dan air yang secara alami tidak bercampur dapat distabilkan menggunakan surfaktan untuk membentuk emulsi dan mikroemulsi. Mikroemulsi, yang stabil secara termodinamika, efektif menurunkan tegangan antarmuka dan mengubah sifat batuan reservoir untuk memobilisasi minyak sisa melalui teknik EOR.

Selain fokus pada minyak, buku ini juga menyoroti aplikasi mikroemulsi di bidang farmasi, kosmetik, nanoteknologi, dan lingkungan. Bab-babnya mencakup pembentukan dan stabilitas emulsi, interaksi dengan fisika reservoir, mekanisme self-assembly, serta teknik pemisahan emulsi yang tidak diinginkan. Dengan bahasa yang sistematis, buku ini memberikan pemahaman praktis dan teoritis bagi mahasiswa, peneliti, dan praktisi industri.

☀ Dasar Pembentukan dan Stabilitas Emulsi dan Mikroemulsi

☀ Interaksi dengan Fisika Reservoir dan Teknik EOR

☀ Mekanisme Self-Assembly dan Struktur Mikroemulsi

☀ Aplikasi di Berbagai Bidang: Minyak & Gas, Farmasi, Kosmetik, Nanoteknologi, dan Lingkungan

☀ Teknik Pemisahan Emulsi yang Tidak Diinginkan

Penerbit
Greenbook Publishing Indonesia
Jl. Sultan Ageng Tirtayasa No.12,
Kedungjaya,
Kec. Kedawung, Kabupaten Cirebon,
Jawa Barat 45611
www.greenbook.id



Akun Instagram

[Greenbook.id](https://www.instagram.com/greenbook.id)



Akun TikTok

[sahabatgreenbook.id](https://www.tiktok.com/@sahabatgreenbook.id)

ISBN 978-634-7542-50-2



9

786347

542502