

Ikatan Ahli Teknik Perminyakan Indonesia
Society of Indonesian Petroleum Engineers

JTMGB	Vol. 12	No. 3	Hal. 119-208	Jakarta Desember 2016	ISSN 2088-7590
-------	---------	-------	--------------	--------------------------	----------------

Jurnal Teknologi Minyak dan Gas Bumi adalah majalah ilmiah diterbitkan setiap kwartal yang menyajikan hasil penelitian dan kajian sebagai kontribusi para profesional ahli teknik perminyakan Indonesia yang tergabung dalam Ikatan Ahli Teknik Perminyakan Indonesia (IATMI) dalam menyediakan media komunikasi kepada anggota IATMI pada khususnya dan mensosialisasikan dunia industri minyak dan gas bumi kepada masyarakat luas pada umumnya.

KEPUTUSAN KETUA UMUM IATMI PUSAT

NO: 003/SK/IATMI/III/2015

Penanggung Jawab : Ir. Alfi Rusin

Pemimpin Redaksi : Ir Raam Krisna

Redaktur Pelaksana : Ir. Andry Halim

Peer Review : Prof. Dr. Ir. Septorotno Siregar (*Enhanced Oil Recovery*)
Prof. Dr. Ir. Pudjo Sukarno (*Integrated Production System*)
Prof. Dr. Ir. Doddy Abdassah, PhD. (*Reservoir Engineering*)
Dr. Ir. RS Trijana Kartoatmodjo (*Production Engineering*)
Dr. Ir. Arsegianto (Ekonomi & Regulasi Migas)
Dr. Ir. Bambang Widarsono (Penilaian Formasi)
Dr. Ir. Sudjati Rachmat, DEA (*Well Stimulation and Hydraulic Fracturing*)
Dr. Ir. Sudarmoyo, SE, MT (Penilaian Formasi)
Dr. Ir. Ratnayu Sitaresmi (Penilaian Formasi - CBM)
Dr. Ir. Sugiatmo Kasmungin (*Reservoir Engineering*)
Dr. Ing. Ir. Bonar Tua Halomoan Marbun (*Drilling Engineering*)
Suryono Adisoemarta, PhD. (*Petroleum Engineering*)

Senior Editor : Ir. Junita Musu, M.Sc.
Ir. Ida Prasanti
Ir. Chairatil Asri

Sekretaris : Ir. Bambang Pudjianto (IATMI)

Layout Design : Alief Syahru Syaifulloh, S.Kom. (Sekretariat IATMI)

Sirkulasi : Abdul Manan, A.Md. (Sekretariat IATMI)

Alamat Redaksi: Patra Office Tower Lt.1 Ruang 1-C
Jl. Jendral Gatot Subroto Kav. 32-34
Jakarta 12950 – Indonesia. Tel/Fax: +62-21-5203057
website: <https://iatmi.or.id> email: pusat@iatmi.or.id

Jurnal Teknologi Minyak dan Gas Bumi (ISSN 0216-6410)
diterbitkan oleh Ikatan Ahli Teknik Perminyakan Indonesia, Jakarta
Didukung oleh Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan ITB

DAFTAR ISI

Improved Proppant Scheduling Method in Hydraulic Fracturing Optimization

Sudjati Rachmat dan Andreas Ansen Vitalis 119 - 152

Comprehenship Study of Enhanced Coal Bed Methane Recovery Potential Using CO₂ Injection Simulation

Sudjati Rachmat dan Monica Gabriela 153 - 166

Studi Laboratorium Terhadap Tegangan Antar Muka Sistem Minyak-CO₂ pada Kondisi Reservoir

M. Abdurrahman dan A.K. Permadi 167 - 176

A Successful Innovative Pilot Project of Natural Dumpflood - Alpha Sand in Oleander Field Central Sumatra Basin

Ade Fadli, Dedek Priscilla dan Muhamad Irfan 177 - 184

The Effect of Rock Mineral and Compositions on Surfactant Injection at Tempino Reservoir Sandstone: A Laboratory Study

Taufan Marhaendrajana dan Kharisma Idea 185 - 196

Techno-Economic Evaluation of Carbon Capture Storage Ready for Coal-Based Power Generation in Indonesia

Usman, Sugihardjo, Danang Sismartono, Aziz M. Lubad, Oki Hedriana dan Arief Sugiyanto 197 - 208

Studi Laboratorium Terhadap Tegangan Antar Muka Sistem Minyak-CO₂ pada Kondisi Reservoir

A Laboratory Study on the Interfacial Tension of Oil-CO₂ System at Reservoir Conditions

M. Abdurrahman¹ dan A.K. Permadi²

¹muslim@eng.uir.ac.id;

²asepkpermadi@tm.itb.ac.id

¹Universitas Islam Riau, Jl. Kaharuddin Nasution No. 113, Pekanbaru, Riau;

²Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha 10, Bandung 40132, Indonesia

Abstrak

Dua sebab utama turunnya produksi minyak nasional adalah keadaan lapangan yang sudah tua dan tekanan yang terus menurun. Sementara itu, tahap produksi umumnya masih didominasi oleh tahap primer dan sekunder. Dengan demikian, diperlukan metode lanjutan, yaitu metode *enhanced oil recovery* (EOR), untuk meningkatkan perolehan minyak. Metode tersebut di antaranya adalah injeksi kimia, gas, atau injeksi uap. Injeksi gas merupakan metode yang sudah matang dan telah terbukti dapat meningkatkan perolehan minyak. Indonesia memiliki sejumlah lapangan gas dengan kandungan CO₂ yang tinggi di sejumlah wilayah kerja. Sumber gas CO₂ tersebut sangat berpotensi untuk digunakan dalam metode injeksi gas dalam rangka meningkatkan perolehan minyak.

Studi yang disajikan dalam makalah ini bertujuan untuk menentukan tegangan antar muka (*interfacial tension*, IFT) antara minyak dan gas CO₂ melalui eksperimen di laboratorium pada temperatur 40°C, 60°C, dan 80°C. Tekanan yang diberikan berada pada kisaran 700 psi sampai 1800 psi. Melalui penelitian ini, dapat diketahui besarnya penurunan tegangan antar muka pada kondisi reservoir. Tegangan antar muka ditentukan dengan cara perhitungan melalui metode *pendant drop*. Sampel minyak yang digunakan dalam penelitian ini diambil dari salah satu lapisan yang berada di Formasi Air Benakat, Cekungan Sumatera Selatan.

Hasil studi menunjukkan bahwa tegangan antar muka CO₂ dan sampel minyak turun secara signifikan seiring dengan kenaikan tekanan. Pada temperatur 40°C terjadi penurunan tegangan antar muka dari 23,16 *dyne/cm* menjadi 0,83 *dyne/cm*. Pada temperatur 60°C terjadi penurunan tegangan antar muka dari 24,25 *dyne/cm* menjadi 2,52 *dyne/cm*. Pada temperatur 80°C terjadi penurunan tegangan antar muka dari 25,88 *dyne/cm* menjadi 3,33 *dyne/cm*. Kenaikan tekanan menyebabkan penurunan tegangan antar muka dan sebaliknya kenaikan temperatur menyebabkan kenaikan tegangan antar muka. Studi semacam ini sangat penting dilakukan sebelum melakukan injeksi CO₂ di lapangan yang diinginkan. Tegangan antar muka sangat erat kaitannya dengan parameter penting lainnya seperti *wettability*, tekanan kapiler, dan dispersi gas. Dengan mengetahui besarnya penurunan tegangan antar muka maka dapat diketahui perubahan yang terjadi pada ketiga parameter di atas. Perubahan parameter-parameter tersebut akan memberikan kontribusi yang sangat signifikan terhadap mekanisme penambahan produksi minyak melalui injeksi gas CO₂.

Kata Kunci: Tegangan antar muka, injeksi CO₂, peningkatan perolehan, metode *pendant drop*.

Abstract

Two major reasons for the national oil production to decline is the maturity of the fields and the continuously declining pressure. In the meantime, the primary and secondary phases are still dominating the production stage. As a result, an enhanced oil recovery (EOR) method is required to improve the oil recovery. The available methods are chemical, gas, or steam injections. Gas injection is a mature method and proved to be able to improve oil recovery. Indonesia is operating a number of gas fields with high CO₂ content. This abundant source of CO₂ is prospective to be used for gas injection in order to improve oil recovery.

This study is aimed to determine the interfacial tension between oil and CO₂ through a laboratory experiment at temperatures of 40°C, 60°C, and 80°C. The pressure is given at the range of 700 psi to 1800 psi. Through the study the reduction in interfacial tension at reservoir condition can be known. The interfacial

tension is determined by calculations through the use of pendant drop method. The oil samples were taken from a reservoir within Air Benakat Formation lying in South Sumatera Basin.

The result of the study shows that the interfacial tension of CO_2 and the oil sample decreases significantly as the pressure increases. At the temperature of $40^\circ C$ the interfacial tension decreases from 23.16 dyne/cm to 0.83 dyne/cm. At the temperature of $60^\circ C$ the interfacial tension decreases from 24.25 dyne/cm to 2.52 dyne/cm. At the temperature of $80^\circ C$ the interfacial tension decreases from 25.88 dyne/cm to 3.33 dyne/cm. The increase in pressure causes the decrease in the interfacial tension and inversely the increase in temperature causes the increase in the interfacial tension. This kind of study should necessarily be conducted prior to conducting CO_2 injection in a desired field. The interfacial tension is strongly related to the other pertinent parameters such as wettability, capillary pressure, and gas dispersion. By knowing the reduction in the interfacial tension then the change in the three important parameters can also be known. The change in the mentioned parameters will provide significant contribution to the mechanism of improving oil production by CO_2 injection.

Keywords: interfacial tension, CO_2 injection, enhanced recovery, pendant drop method.

I. PENDAHULUAN

Tinjauan ringkas tentang CO_2 -EOR

Di antara berbagai metode *enhanced oil recovery* (EOR) yang telah di implementasikan secara luas adalah injeksi termal dan injeksi gas. Injeksi termal telah terbukti dapat meningkatkan perolehan minyak di beberapa lapangan utama di dunia seperti yang terjadi di Canada, Amerika, dan Indonesia (Kooottungal, 2014). Metode ini digunakan untuk menurunkan viskositas minyak yang tinggi pada kondisi reservoir (Pearce and Megginson, 1991). Metode EOR berupa injeksi gas yang telah dikenal dan terbukti berhasil meningkatkan perolehan minyak adalah injeksi gas menggunakan gas karbon dioksida (CO_2). Metode ini dikenal sebagai metode CO_2 -EOR yang telah terbukti meningkatkan perolehan minyak dengan sangat signifikan seperti yang terjadi di Lapangan Sacroc Unit, Dollarhide, Bell Creek, dan Camurlu (Gill, 1982; Bellavance, 1996; Gorecki dkk, 2012; Gondiken, 1987).

Telah diketahui bahwa dalam rangka peningkatan perolehan minyak, metode CO_2 -EOR dapat diterapkan baik pada minyak berat maupun pada minyak ringan. Injeksi CO_2 tercampur (*miscible*) telah terbukti memberikan perolehan dalam kisaran 10-20% dari kandungan minyak awal (*original oil in-place*, OOIP). Jika tekanan reservoir sudah berkurang maka injeksi CO_2 tidak tercampur (*immiscible*) dapat dilakukan. Metode ini telah terbukti dapat meningkatkan perolehan minyak yang cukup signifikan yaitu dalam kisaran 5-10% dari kandungan minyak awal (Lake, 1989).

Permasalahan di lapangan

Lapangan minyak yang telah diproduksi melalui tahap primer dalam kurun waktu yang cukup lama tanpa melakukan langkah-langkah pemeliharaan tekanan (*pressure maintenance*) akan berakibat tekanan reservoir turun menjadi sangat rendah. Jika keadaan ini tidak diatasi maka produksi minyak dari lapangan tersebut akan turun menjadi sangat rendah pula. Dalam keadaan demikian, perlu dilakukan upaya agar produksi minyak dapat ditingkatkan kembali. Menurut Laporan SKK Migas Tahun 2015, metode primer dan sekunder masih menyisakan jumlah hidrokarbon yang sangat signifikan di banyak lapangan minyak di Indonesia. Sebenarnya, berbagai upaya telah dilakukan untuk mempertahankan laju alir produksi primer tersebut pada saat ini. Namun, laju penurunan produksi tidak dapat dipertahankan secara signifikan sehingga diperlukan langkah lebih lanjut, yaitu menerapkan metode peningkatan perolehan tahap lanjut, untuk meningkatkan perolehan minyak dari lapangan yang sudah tua (*mature*) atau jika tekanan reservoir sudah sangat menurun (*depleted*) sesuai dengan potensi yang ada.

Solusi saat ini dan solusi yang diusulkan

Solusi jangka pendek dalam rangka upaya untuk meningkatkan atau sekurang-kurangnya mempertahankan laju produksi minyak adalah dengan melakukan berbagai cara termasuk melakukan stimulasi sumur, membuat sumur sisipan, melakukan injeksi air untuk memelihara tekanan, melakukan perforasi ulang, mengganti

metode pengangkatan buatan, dan lain-lain. Upaya-upaya tersebut pada akhirnya tidak mampu untuk terus mempertahankan produksi sehingga diperlukan metode peningkatan perolehan lanjut.

Salah satu metode lanjut untuk meningkatkan perolehan atau *enhanced oil recovery* (EOR) yang sudah terbukti dapat meningkatkan produksi minyak adalah injeksi gas menggunakan gas CO₂. Keberadaan gas CO₂ di udara sangat dominan dan telah terbukti memberikan kontribusi besar terhadap pemanasan global (Howard dkk, 2000). Gas CO₂ dapat dihasilkan dari aktivitas produksi minyak dan gas bumi. Gas CO₂ dapat pula dihasilkan dari kegiatan industri seperti pabrik semen, industri petrokimia, pabrik baja, pembangkit listrik batubara, dan lain-lain (Dipietro, 2012). Di samping dapat memberikan peningkatan perolehan minyak, melakukan injeksi gas CO₂ ke dalam reservoir minyak juga dapat membantu mengurangi terlepasnya gas CO₂ ke udara. Dengan demikian, injeksi gas CO₂ memberikan nilai tambah tersendiri dalam upaya pelestarian lingkungan hidup. Aktivitas tersebut dikenal dengan sebutan CO₂ *sequestration and utilization* yang telah banyak dilakukan di berbagai negara maju.

Gas CO₂ dapat tercampur dengan minyak pada tekanan tertentu dan jika tekanan ini tercapai dapat memberikan perolehan minyak yang sangat signifikan (Lake, 1989). Namun, jika tekanan tercampur tidak dapat dicapai, tambahan produksi minyak masih dapat diperoleh melalui mekanisme injeksi tak tercampur termasuk *oil swelling*, penurunan viskositas, penurunan densitas, *gas drive*, dan penurunan tegangan antar muka antara CO₂ dan minyak. Oleh karena itu, sangat penting untuk mengetahui tegangan antar muka yang terjadi pada kondisi reservoir jika gas CO₂ diinjeksikan ke dalam reservoir. Jika tegangan antar muka CO₂ dan minyak dapat diturunkan maka tekanan kapiler akan menurun sehingga minyak yang terperangkap di dalam pori-pori batuan menjadi lebih mudah untuk mengalir menuju lubang sumur. Selain itu, untuk reservoir yang terdiri dari batuan karbonat maka keberadaan gas CO₂ akan mengakibatkan perubahan sifat kebasahan batuan (*wettability alteration*). Dalam hal ini, kehadiran gas CO₂ mengakibatkan batuan yang semula bersifat *oil*

wet berubah menjadi *intermediate wet* sehingga membuat minyak lebih mudah mengalir. Namun, penurunan tegangan antar muka CO₂ dan minyak dapat kurang sempurna apabila terdapat keadaan di dalam reservoir yang kurang menguntungkan. Salah satunya adalah dispersi gas. Jika jumlah gas yang terdispersi di dalam reservoir cukup banyak maka jumlah gas CO₂ yang berkontak dengan minyak menjadi lebih sedikit sehingga penurunan tegangan antar muka CO₂ dan minyak tidak maksimal. Beberapa studi untuk mengkaji besaran tegangan antar muka CO₂ dan minyak di laboratorium telah dilakukan oleh El-Sharkawy dkk (1992), Rao (1997), dan Sarapardeh dkk (2014).

Tujuan studi dan hasil yang di harapkan

Studi ini bertujuan untuk melakukan pengukuran besaran tegangan antar muka yang terjadi antara CO₂ dan minyak pada berbagai harga tekanan dan temperatur pada kondisi reservoir dan selanjutnya mengkaji perubahan tegangan antar muka antara kedua fluida. Studi ini sangat penting dilakukan untuk mengetahui pengaruh tekanan dan temperatur terhadap perubahan tegangan antar muka antara kedua fluida. Untuk mendapatkan perolehan minyak yang maksimal maka tegangan antar muka harus diturunkan sebesar mungkin. Selain itu, hasil pengukuran tegangan antar muka dapat memberikan informasi tentang mekanisme yang terjadi, yaitu apakah pendesakan bersifat tercampur (*miscible*) atau tidak tercampur (*immiscible*). Jika harga tegangan antar muka sama dengan nol maka mekanisme yang terjadi adalah pendesakan tercampur dan jika harga tegangan antar muka lebih besar dari nol maka mekanisme yang terjadi adalah pendesakan tidak tercampur.

II. METODOLOGI

Studi ini dilakukan dengan cara melakukan eksperimen di laboratorium dengan menggunakan peralatan yang telah baku untuk menentukan tegangan antar muka sistem dua-fluida yang dalam hal ini berupa sistem yang terdiri dari gas CO₂ dan minyak. Tegangan antar muka dalam studi ini ditentukan dengan cara perhitungan melalui metode *pendant drop*

menggunakan peralatan goniometer yang telah dilengkapi dengan sebuah *view cell* khusus untuk kondisi tekanan dan temperatur tinggi. Gas CO₂ yang digunakan mempunyai tingkat kemurnian 99,99%. Sampel minyak yang digunakan berasal dari Formasi Air Benakat di Cekungan Sumatera Selatan. Sampel minyak tersebut mempunyai API gravity 41,38 dengan sifat fisik dan komposisi seperti ditunjukkan pada Tabel 1 dan 2. Tekanan yang diberikan mulai dari 700 psi sampai 1800 psi dengan tiga harga temperatur yaitu 40°C, 60°C, dan 80°C. Harga tekanan dan temperatur tersebut diambil untuk menggambarkan keadaan reservoir yang sebenarnya.

Tahapan studi meliputi tiga kelompok kegiatan yaitu: 1) pra-eksperimen, 2) eksperimen, dan 3) pasca-eksperimen. Tahap pra-eksperimen meliputi kegiatan yang terkait dengan kalibrasi peralatan, pembersihan dan pengeringan tubing line yang akan dilewati oleh minyak dan gas CO₂ masing-masing menggunakan *toluene* dan gas nitrogen. Kegiatan selanjutnya adalah pembersihan *view cell* dengan menggunakan *vacuum pump* dan kemudian pemanasan *view cell* sesuai dengan temperatur yang diinginkan. Sedangkan tahap eksperimen meliputi kegiatan pengaliran gas CO₂ menggunakan *isco pump* ke dalam *view cell* yang sudah dipanaskan sebelumnya. Kegiatan eksperimen selanjutnya adalah pengukuran tegangan antar muka yang dilakukan sebanyak tiga kali untuk setiap satu set harga tekanan dan temperatur. Penentuan tegangan antar muka dilakukan melalui perhitungan dengan menggunakan program yang tersedia dalam paket peralatan di mana harga tegangan antar muka yang terhitung tersebut ditampilkan secara langsung pada layar komputer. Tahap ketiga, yaitu pasca-eksperimen meliputi kegiatan pembersihan tubing line kembali dengan menggunakan prosedur dan bahan yang sama seperti pada tahap pra-eksperimen.

Spesifikasi *view cell* dan jarum yang digunakan adalah sebagai berikut. *View cell* dapat bertahan hingga tekanan sebesar 3000 psi dan hingga temperatur sebesar 300°C. Tebal kaca *view cell* adalah 10 mm dengan ukuran diameter 30 mm. Diameter luar (*outside diameter*) dari jarum adalah 0,91 mm dengan panjang jarum 50 mm. Setelah tekanan dan temperatur yang diinginkan berada dalam keadaan stabil, *isco*

pump memompakan air ke dalam *chamber* yang berisi sampel minyak dengan kecepatan antara 0,1 cc – 0,5 cc per menit hingga minyak mengalir secara perlahan sampai di ujung jarum yang ada di dalam *view cell*. Agar minyak tetap tergantung di ujung jarum, tekanan *isco pump* harus dijaga selalu lebih besar sedikit dari tekanan di dalam *view cell*. Selain itu, kecepatan alir minyak menuju ke ujung jarum dapat diatur secara manual dengan menggunakan *control valve*. Untuk mengantisipasi aliran balik (*flowback*) dari *view cell* menuju *chamber* digunakan *flow back pressure device* yang dipasang di antara *view cell* dan *chamber*. Skematik peralatan yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 1.

III. HASIL EKSPERIMEN

Eksperimen yang dilakukan dalam studi ini menghasilkan data yang berupa besaran tegangan antar muka antara CO₂ dan minyak pada kondisi reservoir. Tekanan yang diberikan untuk setiap temperatur mempengaruhi besaran tegangan antar muka yang diperoleh. Dalam hal ini, peningkatan tekanan mengakibatkan penurunan tegangan antar muka.

Hasil pengukuran tegangan antar muka antara CO₂ dan minyak dalam studi ini dapat dilihat pada Gambar 2 sampai dengan Gambar 4 berikut. Seperti terlihat pada Gambar 2, pada temperatur 40°C terjadi penurunan tegangan antar muka dari 23,16 *dyne/cm* pada tekanan 700 psia menjadi 0,83 *dyne/cm* pada tekanan 1200 psia. Sedangkan pada Gambar 3 terlihat bahwa pada temperatur 60°C terjadi penurunan tegangan antar muka dari 24,25 *dyne/cm* pada tekanan 800 psia menjadi 2,52 *dyne/cm* pada tekanan 1800 psia. Selanjutnya, Gambar 4 menunjukkan bahwa pada temperatur 80°C terjadi penurunan tegangan antar muka dari 25,88 *dyne/cm* pada tekanan 700 psia menjadi 3,33 *dyne/cm* pada tekanan 1800 psia.

Disamping menyebabkan penurunan tegangan antar muka, tekanan yang diberikan juga mengakibatkan perbedaan ukuran *droplet* minyak. Peningkatan tekanan membuat volume minyak yang tergantung di ujung jarum menjadi lebih kecil. Gambar 5 sampai dengan Gambar 7 berikut menunjukkan pengaruh tekanan terhadap ukuran *droplet* minyak yang tergantung di ujung jarum.

IV. PEMBAHASAN DAN DISKUSI

Tekanan terbukti berpengaruh sangat signifikan terhadap penurunan tegangan antar muka antara CO₂ dan minyak. Data hasil eksperimen dalam studi ini menunjukkan bahwa kenaikan tekanan yang diberikan dapat menurunkan tegangan antar muka antara CO₂ dan minyak secara drastis terutama pada temperatur rendah. Secara *common sense*, kenaikan tekanan menyebabkan densitas CO₂ meningkat dan jika kenaikan tekanan terus berlangsung maka harga densitas CO₂ dapat mendekati harga densitas minyak. Dengan kata lain, perbedaan densitas antara CO₂ dan minyak menjadi makin kecil. Dalam keadaan perbedaan densitas antara dua fluida yang berkontak kecil maka tegangan antar muka antara kedua fluida yang berkontak tersebut relatif lebih rendah.

Temperatur memberikan pengaruh sebaliknya terhadap tegangan antar muka CO₂ dan minyak di mana kenaikan temperatur mengakibatkan peningkatan tegangan antar muka antara CO₂ dan minyak. Dapat dipahami bahwa kenaikan temperatur menyebabkan CO₂ lebih sulit untuk terlarut di dalam minyak. Di samping itu, kenaikan temperatur menyebabkan penurunan densitas CO₂ pada tekanan yang sama. Dengan kata lain, diperlukan tekanan yang lebih tinggi untuk meningkatkan densitas CO₂ pada temperatur yang lebih tinggi. Pada tekanan dan temperatur yang digunakan pada eksperimen dalam studi ini, terlihat bahwa semakin besar perbedaan densitas antara CO₂ dan minyak mengakibatkan tegangan antar muka semakin besar. Dengan demikian, kenaikan temperatur akan mengakibatkan tegangan antar muka CO₂ dan minyak menjadi lebih tinggi.

Observasi lanjut terhadap besaran tegangan antar muka pada ketiga harga temperatur yang digunakan menunjukkan bahwa tegangan antar muka yang terjadi pada temperatur 40°C menurun sampai mendekati harga nol. Hal ini menandakan bahwa pada temperatur rendah mekanisme *miscible* atau *near-miscible* lebih mudah untuk terjadi bahkan pada tekanan yang relatif lebih rendah. Sedangkan tegangan antar muka pada kedua temperatur lainnya yang lebih tinggi, yaitu pada temperatur 60°C dan 80°C, tegangan antar muka dapat mendekati harga nol pada tekanan yang jauh lebih tinggi. Dengan demikian, pada harga tekanan maksimal yang

diberikan pada eksperimen ini, mekanisme yang terjadi adalah *immiscible*.

Selanjutnya, melalui observasi visual, diperoleh informasi tentang pengaruh tekanan dan temperatur terhadap ukuran *droplet* minyak yang menggantung di ujung jarum. Dari observasi tersebut terlihat bahwa kenaikan tekanan mengakibatkan ukuran *droplet* minyak menjadi lebih kecil. Perubahan volume *droplet* ini terutama disebabkan oleh proses ekstraksi komponen ringan dari sampel minyak yang digunakan. Kenaikan tekanan selanjutnya akan mengakibatkan keadaan di mana hanya komponen berat yang tertinggal di *droplet*. Jika keadaan ini terus berlangsung maka akan mendekati kondisi tercampur (*miscible*) atau kondisi hampir tercampur (*near miscible*).

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil studi ini memberikan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada kondisi reservoir, tegangan antar muka CO₂-minyak sangat dipengaruhi oleh besaran tekanan dan temperatur.
2. Kenaikan tekanan mengakibatkan penurunan tegangan antar muka CO₂-minyak. Sebaliknya, kenaikan temperatur dapat menyebabkan kenaikan tegangan antar muka CO₂-minyak.
3. Kenaikan tekanan mengakibatkan perbedaan densitas antara CO₂ dan minyak menjadi lebih kecil. Mekanisme tersebut dapat menyebabkan penurunan tegangan antar muka CO₂-minyak.
4. Kenaikan temperatur mengakibatkan perbedaan densitas antara CO₂ dan minyak menjadi lebih besar. Fenomena tersebut dapat menyebabkan penurunan tegangan antar muka CO₂-minyak menjadi lebih sulit pada temperatur yang lebih tinggi.
5. Mekanisme tercampur (*miscible*) antara CO₂ dan minyak, yang ditandai oleh tegangan antar muka yang mendekati harga nol, lebih mudah untuk terjadi pada temperatur yang lebih rendah. Sedangkan pada temperatur yang lebih tinggi, diperlukan tekanan yang jauh lebih tinggi agar tegangan antar muka mendekati harga nol. Pada kondisi di mana tegangan antar muka lebih besar dari harga nol, mekanisme yang terjadi adalah tak tercampur (*immiscible*).

UCAPAN TERIMA KASIH

Para penulis mengucapkan terima kasih kepada Prof. W.S. Bae dari Sejong University, Korea, dan Prof. I.W. Kim dan Prof. J. H. Lee dari Konkuk University, Korea, atas bantuan peminjaman peralatan eksperimen dan diskusi intensif selama studi ini dilakukan. Selain itu, ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Universitas Islam Riau atas bantuan dan dukungan yang diberikan.

REFERENSI

- Bellavance, J.F.R., 1996. "Dollardhide Devonian CO₂ Flood: Project Performance Review 10 Years Later", Paper SPE 35190-MS presented at Permian Basin Oil and Gas Recovery Conference, 27-29 March, Midland, Texas. <http://dx.doi.org/10.2118/35190-MS>.
- DiPietro, P., Balash, O., Wallace, M., 2012. "A Note on Sources of CO₂ Supply for Enhanced Oil Recovery Operations", SPE Journal of Economic and Management (Paper EM-1111-0002).
- El-Sharkawy, A.M., Poettmann, F.H., Christiansen, R.L., 1992. "Measuring Minimum Miscibility Pressure: Slim Tube or Rising Bubble Method?" Paper SPE-24114-MS presented at SPE/DOE Enhanced Oil Recovery Symposium, 22-24 April, Tulsa, Oklahoma. <http://dx.doi.org/10.2118/24114-MS>.
- Gill, T.E., 1982. "Ten Years of Handling CO₂ for SACROC Unit", Paper SPE 11162-MS presented at SPE Annual Technical Conference and Exhibition, 26-29 September, New Orleans, Louisiana. <http://dx.doi.org/10.2118/11162-MS>.
- Gorecki, C.D., Hamling, J.A., Ensrud, J., Steadman, E.N., Harju, J.A., 2012. "Integrating CO₂ EOR and CO₂ Storage in the Bell Creek Oil Field", Paper SPE 151476 presented at Carbon Management Technology Conference, 7-9 February, Orlando, Florida. <http://dx.doi.org/10.7122/151476-MS>.
- Gondiken, S., 1987. "Camurlu Field Immiscible CO₂ Huff and Puff Pilot Project", Paper SPE 15749-MS presented at Middle East Oil Show, 7-10 March, Bahrain. <http://dx.doi.org/10.2118/15749-MS>.
- Howard, H., Baldur, E., Olav, K., 2000. "Capturing Greenhouse Gases", <https://sequestration.mit.edu/pdf/SciAmer.pdf>. [12 September 2016]
- Koottungal, L., 2014. 2014 "Worldwide EOR Survey", Oil & Gas Journal, Vol. 112, No. 5.
- Lake, L.W., 1989. Enhanced Oil Recovery, Prentice Hall, New Jersey.
- Pearce, J.C. and Megginson, E.A., 1991. "Current Status of Duri Steamflood Project Sumatra, Indonesia", Paper SPE 21527-MS presented at the SPE International Thermal Operations Symposium, 7-8 February, Bakersfield, California. <http://dx.doi.org/10.2118/21527-MS>
- Rao, D.N., 1997. "A New Technique of Vanishing Interfacial Tension for Miscibility Determination", Fluid Phase Equilibria, Vol. 139, Hal. 311-324.
- SKKMigas, 2015. Laporan Tahunan 2015, SKKMigas, Jakarta.
- Sarapardeh, A.H., Ayatollahi, S., Ghazanfari, M.H., Masihi, M., 2014. "Experimental Determination of Interfacial Tension and Miscibility of the CO₂-Crude Oil System; Temperature, Pressure, and Composition Effects", Journal of Chemical and Engineering Data. Vol. 59, Hal. 61-69.

LAMPIRAN

Tabel 1. Sifat Fisik Minyak dan Kondisi Reservoir.

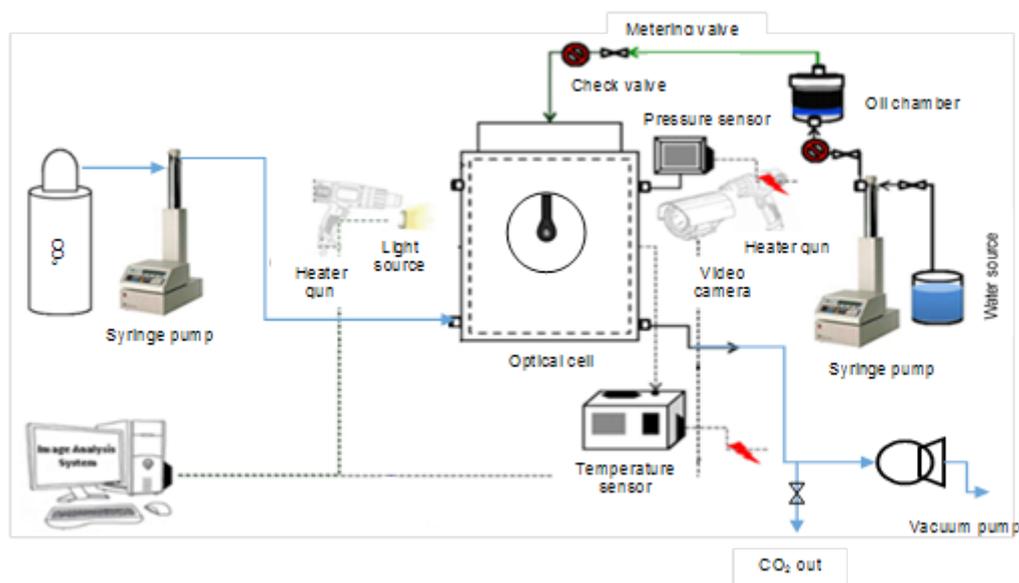
Sifat-sifat	AB-5
API <i>gravity</i> minyak	41,38
Temperatur Reservoir (T_r) [°C]	65
Tekanan Reservoir (p_r) [psi]	1.134
Tekanan Titik Gelembung (p_b) [psi]	1.116
Viscositas [cp]	0,21

Tabel 2. Komposisi Minyak.

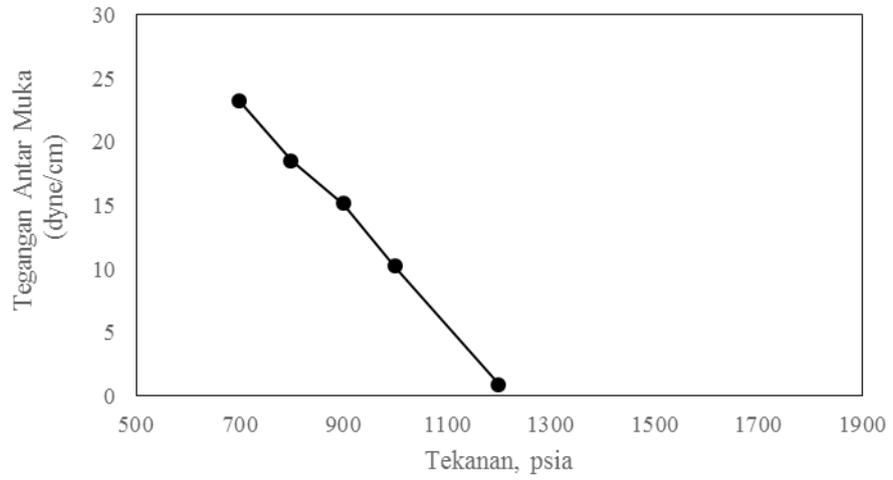
Komponen	Simbol	Mol [%]	Berat [%]
Hidrogen sulfida	H ₂ S	0,00	0,00
Karbon dioksida	CO ₂	0,12	0,05
Nitrogen	N ₂	0,65	0,17
Metana	C ₁	18,50	2,71
Etana	C ₂	1,79	0,59
Propana	C ₃	1,87	0,75
Iso-Butana	i-C ₄	0,84	0,45
n-Butana	n-C ₄	1,37	0,73
Iso-Pentana	i-C ₅	1,64	1,08
n-Pentana	n-C ₅	0,99	0,65
Heksana	C ₆	2,58	2,03
Heptana plus	C ₇₊	69,65	90,89
		100,00	100,00

Sifat-sifat dari Heptana plus:

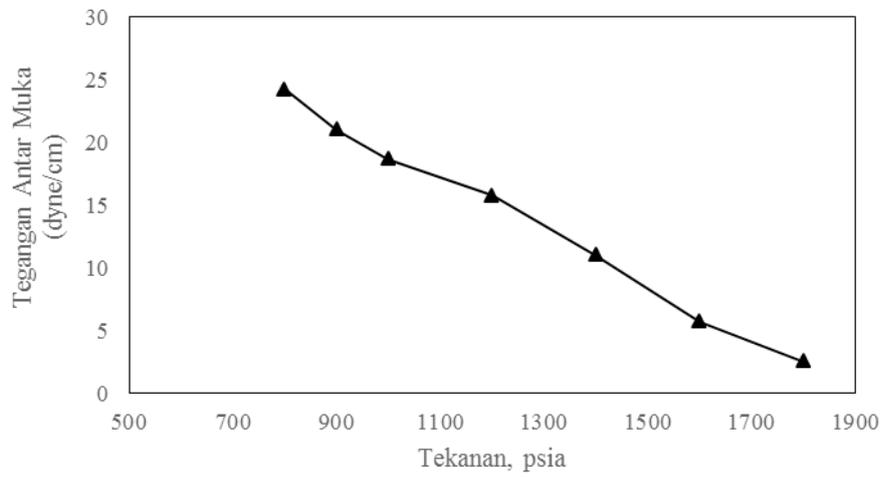
Densitas Minyak 60/60 °F 0,8308
Berat Molekul 142,73



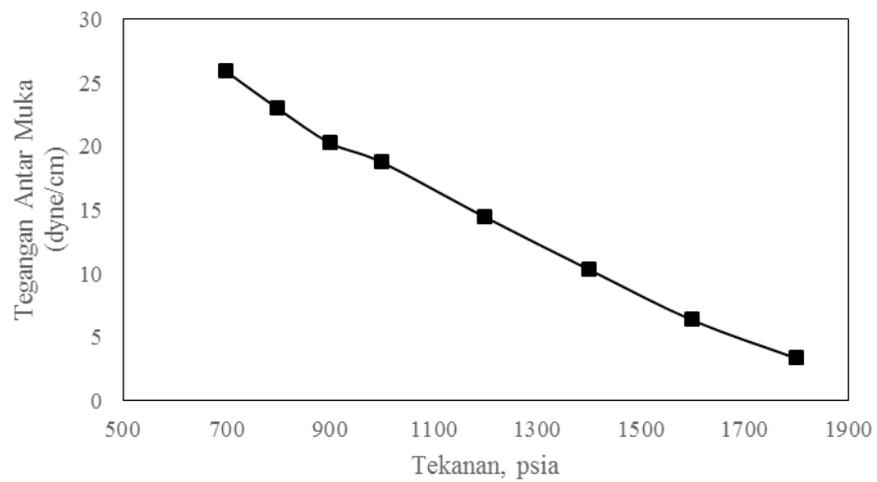
Gambar 1. Skematik diagram eksperimen tegangan antar muka CO₂-minyak.



Gambar 2. Tegangan antar muka CO₂ dan minyak pada temperatur 40°C.



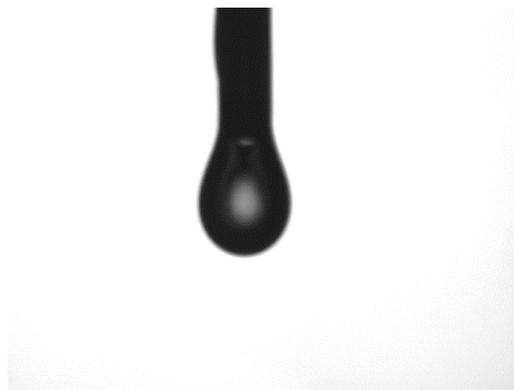
Gambar 3. Tegangan antar muka CO₂ dan minyak pada temperatur 60°C.



Gambar 4. Tegangan antar muka CO₂ dan minyak pada temperatur 80°C.



Gambar 5a. *Oil droplet* pada tekanan 700 psia dan temperatur 40°C.



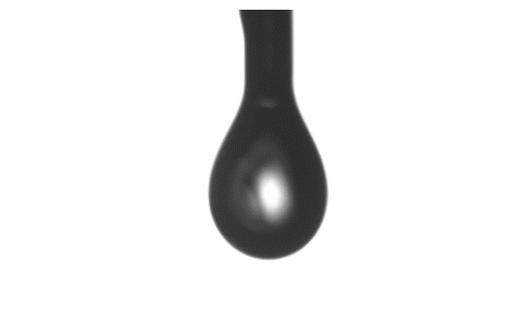
Gambar 5b. *Oil droplet* pada tekanan 1000 psia dan temperatur 40°C.



Gambar 6a. *Oil droplet* pada tekanan 700 psia dan temperatur 60°C.



Gambar 6b. *Oil droplet* pada tekanan 1000 psia dan temperatur 60°C.



Gambar 7a. *Oil droplet* pada tekanan 700 psia dan temperatur 80°C.



Gambar 7b. *Oil droplet* pada tekanan 1000 psia dan temperatur 80°C.

JURNAL TEKNOLOGI MINYAK DAN GAS BUMI

PEDOMAN PENULISAN

ISI DAN KRITERIA UMUM

Naskah makalah ilmiah (selanjutnya disebut "Naskah") untuk publikasi di Jurnal Teknologi Minyak dan Gas Bumi (JTMGB) dapat berupa artikel hasil penelitian atau artikel ulasan balik/tinjauan (*review*) tentang minyak dan gas bumi, baik sains maupun terapan. Naskah belum pernah dipublikasikan atau tidak sedang diajukan pada majalah/jurnal lain.

Naskah ditulis dalam bahasa Indonesia atau bahasa Inggris sesuai kaidah masing-masing bahasa yang digunakan. Naskah harus selalu dilengkapi dengan Abstrak dalam Bahasa Indonesia dan *Abstract* dalam Bahasa Inggris. Naskah yang isi dan formatnya tidak sesuai dengan pedoman penulisan JTMGB akan dikembalikan ke penulis oleh redaksi untuk diperbaiki.

FORMAT

Umum. Seluruh bagian dari naskah termasuk judul abstrak, judul tabel dan gambar, catatan kaki, dan daftar acuan diketik satu setengah spasi pada *electronic-file* dan *print-out* dalam kertas HVS ukuran A4. Pengetikan dilakukan dengan menggunakan huruf (*font*) Times New Roman berukuran 12 point.

Setiap halaman diberi nomor secara berurutan termasuk halaman gambar dan tabel. Hasil penelitian atau ulasan balik/tinjauan ditulis minimum 5 halaman dan maksimum sebanyak 15 halaman, di luar gambar dan tabel. Selanjutnya susunan naskah dibuat sebagai berikut:

Judul. Pada halaman judul tuliskan judul, nama setiap penulis, nama dan alamat institusi masing-masing penulis, dan catatan kaki, yang berisikan terhadap siapa korespondensi harus ditujukan termasuk nomor telepon dan faks serta alamat *e-mail* jika ada.

Abstrak. Abstrak/*abstract* ditulis dalam dua bahasa yaitu bahasa Indonesia dan bahasa Inggris. Abstrak berisi ringkasan pokok bahasan lengkap dari keseluruhan naskah tanpa harus memberikan keterangan terlalu terperinci dari setiap bab. Abstrak tulisan bahasa Indonesia paling banyak terdiri dari 250 kata, sedangkan tulisan dengan bahasa Inggris maksimal 200 kata. Kata kunci/*keywords* ditulis di bawah abstrak/*abstract* dan terdiri atas tiga hingga lima kata.

Pendahuluan. Bab ini harus memberikan latar belakang yang mencukupi sehingga pembaca dapat memahami dan dapat mengevaluasi hasil yang dicapai dari penelitian yang dilaksanakan tanpa harus membaca sendiri publikasi-publikasi sebelumnya, yang berhubungan dengan topik yang bersangkutan.

Permasalahan. Bab ini menjelaskan permasalahan yang akan dilakukan penelitian ataupun kajian.

Metodologi. Berisi materi yang membahas metodologi yang dipergunakan dalam menyelesaikan permasalahan melalui penelitian atau kajian.

Hasil dan Analisis. Hanya berisi hasil-hasil penelitian baik yang disajikan dengan tulisan, tabel, maupun gambar. Hindarkan penggunaan grafik secara berlebihan bila dapat disajikan dengan tulisan secara singkat. Batasi penggunaan foto, sajian yang benar-benar mewakili hasil penemuan. Beri nomor gambar dan tabel secara berurutan. Semua gambar dan tabel yang disajikan harus diacu dalam tulisan.

Pembahasan atau Diskusi. Berisi interpretasi dari hasil penelitian yang diperoleh dan pembahasan yang dikaitkan dengan hasil-hasil yang pernah dilaporkan.

Kesimpulan dan Saran. Berisi kesimpulan dan saran dari isi yang dikandung dalam tulisan. Kesimpulan atau saran tidak boleh diberi penomoran.

Ucapan Terima Kasih. Bila diperlukan dapat digunakan untuk menyebutkan sumber dana penelitian dan untuk memberikan penghargaan kepada beberapa institusi atau orang yang membantu dalam pelaksanaan penelitian dan atau penulisan laporan.

JURNAL TEKNOLOGI MINYAK DAN GAS BUMI

PEDOMAN PENULISAN DAFTAR PUSTAKA

Acuan.

Acuan ditulis dan disusun menurut abjad. Beberapa contoh penulisan sumber acuan:

Jurnal

Hurst, W., 1934. Unsteady Flow of Fluids in Oil Reservoirs. *Physics* (Jan. 1934) 5, 20.

Buku

Abramowitz, M and Stegun, I.A., 1972. *Handbook of Mathematical Functions*. Dover Publications, Inc., New York.

Bab dalam Buku

Costa, J.E., 1984. Physical geomorphology of debris flow. Di dalam: Costa, J.E. & Fleischer, P.J. (eds), *Developments and Applications of Geomorphology*, Springer-Verlag, Berlin, h.268-317.

Abstrak

Barberi, F., Bigioggero, B., Boriani, A., Cavallini, A., Cioni, R., Eva, C., Gelmini, R., Giorgetti, F., Iaccarino, S., Innocenti, F., Marinelli, G., Scotti, A., Slejko, D., Sudradjat, A., dan Villa, A., 1983. Magmatic evolution and structural meaning of the island of Sumbawa, Indonesia-Tambora volcano, island of Sumbawa, Indonesia. *Abstract 18th IUGG I, Symposium 01*, h.48-49.

Peta

Simandjuntak, T.O., Surono, Gafoer, S., dan Amin, T.C., 1991. *Geologi Lembar Muarabungo, Sumatera*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.

Prosiding

Marhaendrajana, T. and Blasingame, T.A., 1997. Rigorous and Semi-Rigorous Approaches for the Evaluation of Average Reservoir Pressure from Pressure Transient Tests. paper SPE 38725 presented at the SPE Annual Technical Conference and Exhibition, San Antonio, Oct. 5-8.

Skripsi/Tesis/Disertasi

Marhaendrajana, T., 2000. *Modeling and Analysis of Flow Behavior in Single and Multiwell Bound ed Reservoir*. PhD dissertation, Texas A&M University, College Station, TX.

Informasi dari Internet

Cantrell, C., 2006. Sri Lankan's tsunami drive blossom: Local man's effort keeps on giving. [Http://www.boston.com/news/local/articles/2006/01/26/sri_lankans_tsunami_drive_blossoms/](http://www.boston.com/news/local/articles/2006/01/26/sri_lankans_tsunami_drive_blossoms/)[26 Jan 2006]

Software

ECLIPSE 100 (software), GeoQuest Reservoir Technologies, Abbingdon, UK, 1997.

Naskah sedapat mungkin dilengkapi dengan gambar/peta/grafik/foto. Pemuatan gambar/peta/grafik/foto selalu dinyatakan sebagai gambar dan *file image* yang bersangkutan agar dilampirkan secara terpisah dalam format *image* (*.jpg) dengan ukuran minimal A4 dan minimal resolusi 300 dpi, Corel Draw (*.cdr), atau Autocad (*.dwg). Gambar dan tabel diletakkan di bagian akhir naskah masing-masing pada halaman terpisah. Gambar dan tabel dari publikasi sebelumnya dapat dicantumkan bila mendapat persetujuan dari penulisnya.

PENGIRIMAN

Penulis diminta mengirimkan satu eksemplar naskah asli beserta dokumennya (*file*) di dalam *compact disk* (CD) yang harus disiapkan dengan program Microsoft Word. Pada CD dituliskan nama penulis dan nama dokumen. Naskah akan dikembalikan untuk diperbaiki jika persyaratan ini tidak dipenuhi. Naskah agar dikirimkan kepada:

Redaksi Jurnal Teknologi Minyak dan Gas Bumi
d.a. Patra Office Tower Lt. 1 Ruang 1C
Jln. Jend. Gatot Subroto Kav. 32-34
Jakarta 12950 – Indonesia

Pengiriman naskah harus disertai dengan surat resmi dari penulis penanggung jawab/korespondensi (*corresponding author*) yang harus berisikan dengan jelas nama penulis korespondensi, alamat lengkap untuk surat-menyurat, nomor telepon dan faks, serta alamat *e-mail* dan telepon genggam jika memiliki. Penulis korespondensi bertanggung jawab atas isi naskah dan legalitas pengiriman naskah yang bersangkutan. Naskah juga sudah harus diketahui dan disetujui oleh salah satu penulis dan atau seluruh anggota penulis dengan pernyataan secara tertulis.