



B.1  
ISSN : 1693-4393

# SEMINAR NASIONAL TEKNIK KIMIA "KEJUANGAN" 2007

*Pengembangan Teknologi Kimia  
Untuk Pengolahan Sumber Daya  
Alam Indonesia*

**30 Januari 2007**

**PROSIDING**

**JURUSAN TEKNIK KIMIA  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
UPN "VETERAN" YOGYAKARTA**



# PROSIDING

## SEMINAR NASIONAL TEKNIK KIMIA "KEJUANGAN" 2007

*Pengembangan Teknologi Kimia  
untuk Pengolahan Sumber Daya Alam Indonesia*



**30 Januari 2007**

**JURUSAN TEKNIK KIMIA  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
UPN "VETERAN" YOGYAKARTA**

# **REVIEWER**

*Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan" 2007*

**JURUSAN TEKNIK KIMIA FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL "VETERAN"  
YOGYAKARTA**

***Prof. Ir. Wahyudi Budi Sediawan, SU, Ph.D***

***Ir. Suryo Purwono, MASc, PhD***

***Prof. Dr. Ir. H. Supranto, SU***

# SUSUNAN PANITIA

**Penanggung Jawab** : Pengurus Jurusan Teknik Kimia  
Fakultas Teknologi Industri

**Panitia Pengarah:**

**Ketua** : Prof. Dr. Ir. H. Supranto, SU

**Anggota** : Ir. Gunarto, MS  
Ir. Danang Jaya, MT  
Prof. Ir. Wahyudi Budi Sediawan, SU, PhD  
Ir. Suryo Purwono, MA.Sc., PhD  
Dr. Ir. I Gusti S. Budiawan, MT  
Ir. Widayati, MT, PhD  
Dr. Ir. M. Syahri, MT

## PANITIA PELAKSANA

Ketua	Dr. Ir. M. Syahri, MT Ir. Harsa Pawignya, MT
Sekretaris	Ir. Tutik Muji S., MT Dra. Sri Wahyu Murni, MT
Bendahara	Ir. Tunjung Wahyu W., MT Siswanti, ST, MT
Acara dan Persidangan	Dr. Yulius D. Hermawan, ST, MT Ir. Titik Mahargiani, MT
Seksi Materi dan Prosiding	Siti Diyar Kholisoh, ST, MT Ir. Bambang Sugiarto, MT
Seksi Dana dan Promosi	Ir. H. Abdullah Efendi, MT Ir. Gogot Haryono, MT
Seksi Publikasi, Dokumentasi, dan Dekorasi	Ir. Zubaidi Achmad, MT Ir. Hj. Faizah Hadi, MT
Seksi Perlengkapan	Ir. Wasir Nuri Ir. Suryanto
Seksi Konsumsi	Ir. Dyah Tri Retno, MM Ir. Endang Sulistyowati, MT

# DAFTAR MAKALAH SEMINAR NASIONAL TEKNIK KIMIA "KEJUANGAN" 2007

## MAKALAH PEMBICARA UTAMA

1. **SUMBER DAYA ALAM UNTUK ENERGI ALTERNATIF DI INDONESIA: POTENSI, TEKNOLOGI, APLIKASI, DAN EKONOMI**  
*Ibu Neni Sri Utami*  
Kepala Badan Penelitian dan Pengembangan Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM)
2. **PENGEMBANGAN ENERGI BIOFUEL**  
*Dr. Tatang Hernas Soerawidjaja*  
Departemen Teknik Kimia Institut Teknologi Bandung

## A. TEKNOLOGI ENERGI DAN BAHAN

- A-01 UPAYA PENGEMBANGAN TEKNOLOGI PEMBUATAN DAN KARAKTERISTIK INSTAN EKSTRAK UMBI YA'CON (*Polymnia sonchifolia*) METODA KO-KRISTALISASI DENGAN PENAMBAHAN SUKROSA**  
*Agus Triyono*  
Balai Besar Pengembangan Teknologi Tepat Guna – LIPI  
Jl. K.S Tubun No. 5 Subang, Telp (0260) 411478, 412878, Fax (0260) 411239  
E-mail: atriyono-ttg@yahoo.com
- A-02 PENGARUH BERBAGAI KOMPOS TERHADAP PRODUKSI KANGKUNG DARAT (*Ipomea reptans* Poir)**  
*Sriharti dan Taklyah Sallm*  
Balai Besar Pengembangan Teknologi Tepat Guna -- LIPI  
Jl. K.S. Tubun No. 5 Subang 41211, Telp. (0260) 411478, Fax (0260) 411239  
E-mail: sriharti2002@yahoo.com
- A-03 USAHA PENGHEMATAN ENERGI DI INDUSTRI BUMBU MASAK MELALUI PROGRAM AUDIT ENERGI**  
*Suglyatno*  
Kelompok Energi Puslit Fisika – LIPI Bandung  
Jl. Cisitub Bandung 40135 , T. 022 – 2507773, F. 2503050  
Email: [giyatwates@plasa.com](mailto:giyatwates@plasa.com), [syatno@lipi.fisika.net](mailto:syatno@lipi.fisika.net)
- A-04 PERUBAHAN MUTU SALE PISANG SUMEDANG SELAMA PENYIMPANAN DENGAN TEKNIK PENGEMASAN**  
*Doddy A. Darmajana*  
Balai Besar Pengembangan Teknologi Tepat Guna - LIPI  
Jl. K.S. Tubun no.5, Subang 41211  
e.mail: [doddyandy@yahoo.com](mailto:doddyandy@yahoo.com)
- A-05 EFEK PENGHAMBATAN BEBERAPA FRAKSI EKSTRAK BUAH MENGGUDU TERHADAP *Shigella dysenteriae***  
*Emad Damayanti<sup>1)</sup> dan Tata Brata Suparjana<sup>2)</sup>*  
<sup>1)</sup> UPT BPPTK LIPI Yogyakarta  
Gading, Playen, Gunungkidul PO BOX : 174 WNO Telp/Fax.(0274)392570;  
E-mail: [emad001@lipi.go.id](mailto:emad001@lipi.go.id); [ema\\_dyanti@yahoo.com](mailto:ema_dyanti@yahoo.com)  
<sup>2)</sup> Fakultas Biologi Universitas Jenderal Soedirman Purwokerto
- A-06 PERFORMANCE (UNJUK KERJA) MATERIAL REGRIND PE (POLIETILENA) SEBAGAI BAHAN MATERIAL CAMPURAN PEMBUATAN PIPA :TINJAUAN TERHADAP SIFAT MEKANIS**  
*Hendro Sat Setllo Tomo, Syah J. Ali Nasri, Heru Santoso dan Saeful Rohman*  
Balai Pengkajian Teknologi Polimer, BPP Teknologi, Puspiptek, Serpong, Tangerang  
Telp. (021) 75872032, Fax. (021)7560057  
E-mail : [satsetllo@yahoo.com](mailto:satsetllo@yahoo.com)

- A-16 KAJIAN KOMPATIBILITAS AIR INJEKSI TERHADAP AIR FORMASI PADA OIL RECOVERY**  
*M.Syahril<sup>1</sup>, Dedy Kristanto<sup>2</sup>*  
<sup>1</sup>Jurusan Teknik Kimia Fak. Teknologi Industri  
<sup>2</sup>Jurusan Teknik Perminyakan Fak. Teknologi Mineral  
 UPN "Veteran" Yogyakarta  
 Jl. SWK 104 (Lingkar Utara) Condongcatur, Yogyakarta 55283
- A-17 OIL RECOVERY USING WATER FLOODING IN THE CARBONATE RESERVOIR**  
*I Gusti S. Budiaman, Danang Jaya, and Susanto Setyo Wibowo*  
 Department of Chemical Engineering, Faculty of Industrial Technology  
 University of Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta
- A-18 PENGUKURAN KINERJA INSINERATOR TIPE PPF-GF CCB 1.50 DI MUARA BADAK KALIMANTAN-TIMUR**  
*Mamat*  
 Pusat Penelitian Fisika – LIPI  
 Jln. Sangkuriang ( kompleks LIPI ) No. 21 / 154D, Bandung 40135  
 Telp : (022) 250 3052, 250 7773, E-mail: [irmmt53@yahoo.com](mailto:irmmt53@yahoo.com), [irmmt@plasa.com](mailto:irmmt@plasa.com)
- A-19 RANCANG BANGUN INSINERATOR PPF-GF.CCS 0.75 YANG MEMENUHI BAKU MUTU LINGKUNGAN UNTUK PEMBAKARAN SAMPAH ORGANIK PADAT**  
*Mamat*  
 Pusat Penelitian Fisika – LIPI  
 Jln. Sangkuriang ( kompleks LIPI ) Bandung 40135,  
 Telp: (022) 250 3052, 250 773 – Fax : (022) 250 3050, E-mail: [irmmt@plasa.com](mailto:irmmt@plasa.com)
- A-20 ANALISIS KANDUNGAN EMAS DAN ASSOSIASI MINERAL LAINNYA DENGAN EPMA DI DAERAH PENJOM, SEMENANJUNG MALAYSIA**  
*Heru Sigit Purwanto*  
 Program Magister Teknik Geologi UPN "Veteran" Yogyakarta  
 Jl. SWK 104 (Lingkar Utara) Condongcatur Yogyakarta 55283  
 E-mail: [sigitgeologi@hotmail.com](mailto:sigitgeologi@hotmail.com)

## B. STUDI FUNDAMENTAL

- B-01 DISTRIBUSI UKURAN TETES DALAM KOLOM ISIAN**  
*Danu Arlono, Mublar Purwasasmita dan Priyono Kusumo*  
 Program Studi Teknik Kimia  
 Kelompok Keahlian Perancangan dan Pengembangan Proses  
 Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Bandung  
 Jl. Ganesa 10 Bandung 40132, Email: [danu@che.itb.ac.id](mailto:danu@che.itb.ac.id)
- B-02 UJI UNJUK KERJA SISTEM PEMBANGKIT ENERGI BATUBARA KALORI RENDAH BERBASIS TUNGKU SIKLON TURBULEN**  
*Sugiyatno, Imam Djunaedi, Haifa Wahyu, Muhammad Affendi*  
 Group Energi - Pusat Penelitian Fisika - Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia.  
 Jl. Sangkuriang - Kompleks LIPI, Bandung 40135,  
 Tlp. 022 2507772/2507773, Fax 022 2504803/2503050  
 E-mail: [giyatwates@plasa.com](mailto:giyatwates@plasa.com) - [imam\\_djunaedi@yahoo.com](mailto:imam_djunaedi@yahoo.com) - [haifa@fisika.lipi.go.id](mailto:haifa@fisika.lipi.go.id)
- B-03 PENGEMBANGAN SISTEM PEMBANGKIT ENERGI BATUBARA KALORI RENDAH BERBASIS TUNGKU SIKLON TURBULEN**  
*Imam Djunaedi, Haifa Wahyu, Sugiyatno, Muhammad Affendi*  
 Group Energi - Pusat Penelitian Fisika - Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia.  
 Energy Group – Research Center for Physics – Indonesian Institute of Sciences.  
 Jl. Sangkuriang - Kompleks LIPI, Bandung 40135,  
 Tlp. 022 2507772/250773, Fax 022 2504803/2503050  
 E-mail: [imam\\_djunaedi@yahoo.com](mailto:imam_djunaedi@yahoo.com) & [imam\\_djunaedi@subang-java.com](mailto:imam_djunaedi@subang-java.com)



## OIL RECOVERY USING WATER FLOODING IN THE CARBONATE RESERVOIR

I Gusti S. Budiawan, Danang Jaya, and Susanto Setyo Wibowo

Department of Chemical Engineering, Faculty of Industrial Technology, University of Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta

### ABSTRACT

*This research covered the experiment of the laboratory and the theoretical analysis, in order to increase of the oil collection used the injection of water. Furthermore, the mathematical model of two phase flow was made, one dimension for the process of the swiping of oil with water in the carbonate rock reservoir. Available parameters were correlated with the physical characteristics of rock chemistry reservoir and crude oil.*

*The experiment was carried out in the artificial reservoir used the carbonate rock from West Ketaling, Jambi with the dimension 12 cm and 15 cm long with the diameter 2,54 cm. In this case, oil inside reservoir was pushed went out used the injection of water in the certain pressure and speed. Each interval of specific time, was carried out by the analysis versus percent oil was picked up. The experiment was stopped if the injection of water could not still push oil went out from reservoir. The experiment variation that was carried out covered the salinity of injection water and reservoir permeability.*

*Based on results of the laboratory experiment, was done by the testing or the verification of the model by numerical of smallest sum square of error versus percent oil was taken in various time by arrange the value of parameters model. The model that was put forward could illustrate the oil sweep with water. Mathematical model parameters that were received covered the ratio of the mobility ( $M$ ), the constant of the water fraction ( $n_1$  and  $n_2$ ), critical water saturation after the oil migration ( $s_{wc,w}$ ), and residual oil saturation after water flooding ( $s_{or,w}$ ). Furthermore, by using the mathematical model that was put forward was accompanied by the value of parameters that was received, then the amount of oil recovery could be estimated.*

### I. PENDAHULUAN

#### A. Latar Belakang

Kebutuhan akan energi, khususnya yang berasal dari minyak bumi, dirasa terus meningkat sejalan dengan perkembangan dan kemajuan teknologi dewasa ini, sementara pengambilan minyak dari dalam reservoir dengan cara primer dan sekunder (*water flooding*), hanya mampu mengambil minyak sekitar 30%-50% dari cadangan minyak asli (Gogarty, 1983; Salam et al., 1993). Kasus yang terjadi di reservoir Ketaling Barat, Jambi, saat ini *recovery* yang dihasilkan dengan cara primer terus menurun menjadi sekitar 2,5%-5% minyak terhadap total produksi. Dengan demikian perlu dicari cara untuk menaikkan *recovery* minyak. Metode yang diteliti adalah pendesakan minyak dengan cara sekunder dan cara tersier. Dalam hal ini, yang dipelajari adalah dengan cara sekunder (*water flooding*).

Penelitian ini bermaksud mempelajari proses pendesakan minyak dengan air pada reservoir batuan karbonat. Diharapkan dapat diperoleh model matematis yang cocok, sehingga akan diperoleh parameter-parameter model yang akan digunakan sebagai data *input* pada proses EOR. Selanjutnya dicari korelasi antara parameter-parameter model dengan sifat-sifat fisis cairan dan sifat-sifat fisis batuan.

#### B. Tujuan penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan parameter model matematis yang cocok untuk proses pendesakan minyak dengan air pada reservoir batuan karbonat. Selanjutnya dicari korelasi antara parameter-parameter model dengan sifat-sifat fisis cairan dan sifat-sifat fisis batuan, sehingga kelakuan aliran dua fasa cair-cair pada batuan reservoir dapat

diperkirakan. Variasi percobaan yang dijalankan guna memperoleh korelasi yang diharapkan berlaku umum, meliputi permeabilitas dan salinitas air formasi.

### C. Tinjauan Pustaka

Umumnya produksi minyak suatu reservoir pada tahap awal memanfaatkan *primary depletion*, yang mana minyak diproduksi akibat tekanan awal reservoir. Dalam hal pendesakan minyak dengan air dimaksudkan untuk menjaga agar tekanan reservoir dapat dipertahankan, sehingga minyak tetap dapat mengalir. Apabila injeksi air terus dilakukan akan dicapai suatu kondisi *breakthrough* yaitu penerobosan air keluar reservoir (Sorbie, 1991).

Beberapa hal yang perlu mendapatkan perhatian dalam proses pendesakan minyak, antara lain: batuan reservoir, struktur dan sifat-sifat fisis dan kimia media berpori, permeabilitas atau distribusi ukuran pori batuan, keadaan cairan dalam media berpori, dan mekanisme *recovery*.

#### 1. Batuan reservoir

Batuan reservoir suatu ladang minyak dapat terdiri atas batuan karbonat, batuan vulkanik, dan batuan pasir. Jenis batuan reservoir suatu ladang minyak sangat menentukan dalam pemilihan jenis proses EOR.

#### 2. Struktur dan sifat fisis media berpori

Menurut Collins (1976) struktur media berpori pada umumnya merupakan padatan yang mempunyai rongga-rongga yang dapat saling berhubungan (*interconnected*) atau tidak (*unconnected*). Porositas merupakan fraksi volume rongga terhadap volume *bulk*, yang pada umumnya bervariasi antara 10%-40% (Pertamina UEP-II, 1990; Pinczewski, 1993). Permeabilitas merupakan sifat media berpori yang menyebabkan fluida dapat mengalir jika ada beda tekanan, dan hal ini telah didemonstrasikan oleh Darcy pada tahun 1856. Variasi permeabilitas sebagai akibat variasi porositas atau terdapat korelasi langsung antara permeabilitas dan porositas.

#### 3. Keadaan fluida dalam media berpori

Dalam rongga media berpori, sebagian rongga dapat terisi oleh cairan dan rongga yang tersisa terisi oleh udara atau gas. Selain itu, rongga media berpori dapat juga terisi oleh beberapa cairan *immiscible* secara bersama-sama. Saturasi media berpori merupakan fraksi volume fluida terhadap volume rongga total (Collins, 1976; Stevenson et al., 1990).

Cairan dalam reservoir terdiri atas air formasi dan minyak mentah. Karena reservoir berada pada kedalaman tertentu, maka biasanya air formasi sudah mengandung garam (salinitas) akibat adanya pengaruh air laut. Minyak mentah terdiri atas campuran kompleks komponen hidrokarbon dengan rantai karbon dari  $C_1$  sampai  $C_{200}$  atau lebih. Berdasarkan struktur molekulnya, minyak mentah diklasifikasikan menjadi tiga, yaitu: minyak parafinis, minyak naptenis, dan minyak aromatis.

#### 4. *Recovery mechanism*

Menurut Lake (1989) dan Pinczewski (1993) mekanisme *recovery* minyak bumi dalam reservoir dapat digolongkan menjadi tiga: *Primary recovery*, *Secondary recovery*, *Tertiary recovery* atau proses EOR.

#### 5. Model Matematis yang Telah Dikembangkan

Model matematis untuk proses pendesakan dengan air (*water flooding*) telah diteliti oleh beberapa peneliti terdahulu, yang pertama kali dikembangkan oleh Leverett (1941), dan diikuti antara lain oleh Buckley dan Leverett (1942), Marle (1981), Lake (1989), Sorbie (1991), dan Budiawan (2003). Pendekatan-pendekatan tersebut disusun berdasarkan teori fenomena transfer, persamaan kontinuitas, dan persamaan Darcy's.

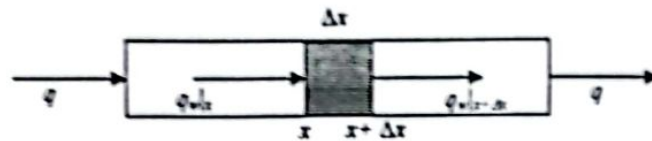


Hal yang dianggap baru dalam penelitian ini dalam hal penggunaan batuan reservoir karbonat asal Ketaling Barat Jambi dan korelasi parameter-parameter model dengan sifat-sifat fisis fluida dan sifat-sifat fisis reservoir.

#### D. Landasan Teori

Analisis model matematis aliran dua fasa minyak-air tidak bercampur (*immiscible*) dalam media berpori cukup kompleks sehingga perlu diambil asumsi-asumsi sebagai berikut: fluida tak termampatkan (*incompressible*), porositas homogen, kecepatan aliran tetap, tidak ada perubahan suhu, dan mengikuti pola aliran sumbat (*plug flow*) satu dimensi arah aksial. Model matematis dibahas untuk proses pendesakan minyak dengan air pada reservoir batuan karbonat berbentuk silinder horizontal satu dimensi.

Skema aliran ditinjau pada elemen volume  $A\Delta x$  seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Aliran dua fasa pada elemen volume  $A\Delta x$ .

Berdasarkan neraca massa air pada reservoir satu dimensi arah  $x$  dengan elemen volume  $A\Delta x$  diperoleh persamaan diferensial berikut:

$$\frac{\partial \bar{s}_w}{\partial t} = -\frac{1}{\phi A} \frac{\partial q_w}{\partial x} \quad (1)$$

Kecepatan volumetris,  $q = q_w + q_n$  (2)

dan saturasi,  $s_w + s_n = 1$  (3)

Sepanjang media berpori kecepatan volumetris total tetap. Kecepatan air dalam aliran dapat dinyatakan dengan fraksi air dalam aliran sebagai berikut:

$$f_w = \frac{q_w}{q} \text{ atau } q_w = f_w q \text{ atau } u_w = u f_w \quad (4)$$

sehingga persamaan 1-1 dapat dinyatakan:

$$\frac{\partial \bar{s}_w}{\partial t} + \frac{u}{\phi} \frac{\partial f_w}{\partial x} = 0 \quad (5)$$

Fraksi air dalam aliran minyak-air pada pendesakan minyak dengan air hanya dipengaruhi oleh saturasi air. Selanjutnya persamaan 5 dapat dinyatakan sebagai:

$$\frac{\partial \bar{s}_w}{\partial t} = -\frac{u}{\phi} \frac{df_w}{ds_w} \frac{\partial \bar{s}_w}{\partial x} \quad (6)$$

dengan,

$$f_w = \frac{1}{1 + \frac{(1-S)^{n+1}}{MS^n}} \quad (7)$$

$$S = \frac{s_w - s_{w,c}}{1 - s_{w,c} - s_{w,c}} \quad (8)$$

Kondisi awal (IC):  $s_w(x,0) = s_{w,c}$  (9)

(10).

Kondisi batas (BC):  $s_w(0,t) = 1$  dengan,  $s_w(x,t) = finite$

Model matematis pendesakan minyak dengan air yang dihasilkan terlihat hampir sama dengan yang terdapat dalam tinjauan pustaka, Dalam hal ini nilai parameter-parameter  $n_1$ ,  $n_2$ , dan  $M$  ditetapkan dengan cara kuadrat terkecil numeris antara data persen minyak terpungut pada percobaan dengan persen minyak terpungut dari perhitungan untuk masing-masing variabel percobaan. Jumlah minyak mula-mula dalam reservoir dihitung dengan:

$$V_w = \phi A \int_0^L (1 - s_w(x,0)) dx \quad (11)$$

Jumlah minyak yang tertinggal dalam reservoir dihitung dengan:

$$V_w = \phi A \int_0^L (1 - s_w(x,t)) dx \quad (12)$$

Persen minyak yang diambil secara kumulatif dihitung dengan:

$$R = \frac{V_w - V_w}{V_w} 100\% \quad (13)$$

Volume fluida yang diinjeksikan per volume pori (*pore volume injection*) adalah:

$$PVI = \frac{uAt}{V_p} \quad (14)$$

Evaluasi nilai parameter-parameter model matematis pada prinsipnya diuji dengan *curve-fitting* yaitu dengan minimasi jumlah kuadrat kesalahan (*SSE*) terkecil dari persen volume minyak diambil setiap saat pada data percobaan dan hasil perhitungan.

$$SSE = \sum_1^n \{(R)_{hitung} - (R)_{data}\}^2 \quad (15)$$

Nilai parameter-parameter yang diperoleh, selanjutnya dicari korelasinya antara nilai parameter-parameter tersebut dengan sifat-sifat fisis cairan dan sifat-sifat fisis batuan reservoir.

### E. Hipotesis

Model matematis pendesakan minyak dengan air dalam reservoir batuan karbonat berupa aliran 2 fasa minyak-air, satu dimensi, fluida tak termampatkan, kecepatan aliran tetap, dan mengikuti pola aliran sumbat dapat digunakan untuk memperkirakan saturasi air atau saturasi minyak pada berbagai posisi reservoir pada pendesakan minyak dengan air.

## II. CARA PENELITIAN

### A. Bahan

Bahan yang dimaksudkan adalah bahan baku berupa minyak mentah, batuan reservoir jenis batuan karbonat, dan air formasi diperoleh dari reservoir Ketaling Barat (KTB). Selain itu, juga terdapat bahan pembantu berupa nitrogen tekan antara lain untuk pengujian permeabilitas, volume pori, dan mengatur kecepatan pendesakan. Pengujian terhadap bahan baku meliputi sifat-sifat fisis fluida dan batuan reservoir.

### B. Cakupan Penelitian

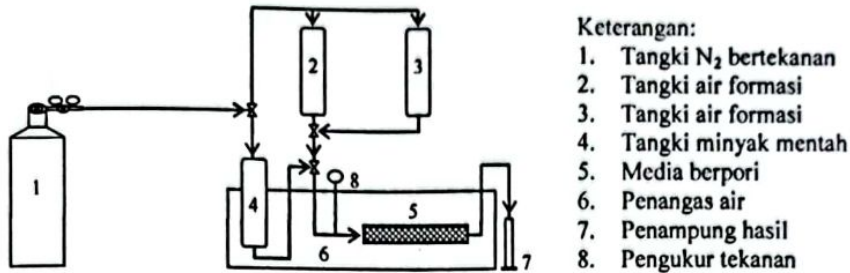
Penelitian dilakukan dalam satu tahapan utama, yaitu tahapan pendesakan minyak menggunakan air formasi (*water flooding*).

### C. Variabel Penelitian

Variasi dalam proses pendesakan minyak dengan air meliputi viskositas minyak, salinitas air formasi, dan permeabilitas batuan. Konsentrasi garam (salinitas) dikondisikan pada saat penjuhan batuan dengan air formasi. Variabel yang tidak dibahas secara khusus dalam penelitian ini adalah temperatur percobaan karena telah terwakili oleh sifat-sifat fisis yaitu viskositas minyak mentah, sedangkan distribusi ukuran pori telah terwakili oleh variasi permeabilitas.

### D. Alat Percobaan

Susunan alat yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Rangkaian alat percobaan.

### E. Prosedur Penelitian

Sebelum dilakukan percobaan yang sesungguhnya, terlebih dahulu dilakukan persiapan pada alat-alat dan bahan-bahan yang akan digunakan, meliputi beberapa tahapan meliputi preparasi batuan reservoir, penyiapan batuan reservoir, pengujian permeabilitas, pengujian volume pori dan porositas, pencucian batuan reservoir, pengujian distribusi ukuran pori, penjuhan reservoir dengan air formasi, migrasi minyak, dan terakhir pendesakan minyak dengan air formasi.

Pada tahapan ini air formasi dengan salinitas tertentu yang telah disiapkan dalam tabung (2) dialirkan dengan bantuan gas nitrogen pada tekanan tertentu, sehingga diperoleh kecepatan aliran fluida yang direncanakan. Minyak yang terdorong keluar reservoir, ditampung dalam kolektor (7), selanjutnya pada waktu-waktu tertentu di catat volumenya, kecuali tumpukan pada periode pertama volume minyak yang tertampung di koreksi dengan volume pemipaan (volume koreksi). Waktu pendesakan awal di hitung setelah volume koreksi tercapai. Jika minyak sudah tidak mampu lagi terdorong keluar, ditandai dengan beberapa periode pengamatan terakhir tidak menghasilkan minyak, maka pendesakan dengan air dihentikan. Pada keadaan ini minyak yang tersisa dalam reservoir disebut sebagai minyak sisa. Selanjutnya dengan cara yang sama dilakukan percobaan untuk berbagai salinitas air formasi dan permeabilitas batuan.

## III. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Data hasil percobaan dan perhitungan berdasarkan model matematis yang diusulkan berupa persen minyak terpungut (*percent oil recovery* =  $R$ ) versus waktu untuk pendesakan minyak dengan air untuk keseluruhan percobaan disajikan secara ringkas dalam tabel III-1, secara lengkap diambil contoh percobaan 1 yang disajikan dalam tabel III-2 dan gambar 3.

Nilai parameter-parameter model untuk berbagai percobaan dan perbandingan hasil hitungan dan percobaan seperti yang terlihat pada tabel III-1 menunjukkan bahwa model matematis yang diusulkan untuk aliran dua fasa minyak-air, satu dimensi, kecepatan aliran tunak, dan fluida tak termampatkan dapat menggambarkan proses perpindahan massa yang terjadi dalam reservoir untuk proses *water flooding*. Gambar 3 menunjukkan pada akhir kurva hampir tidak terjadi kenaikan persen minyak terpungut, hal ini menunjukkan bahwa pada akhir proses *water flooding* air tidak mampu lagi mendesak minyak keluar lagi dari dalam reservoir sehingga yang keluar hanya air saja atau fraksi air dalam aliran sama dengan satu.

Tabel III-1. Perbandingan minyak terpengut pada berbagai percobaan disertai parameter model yang diperoleh

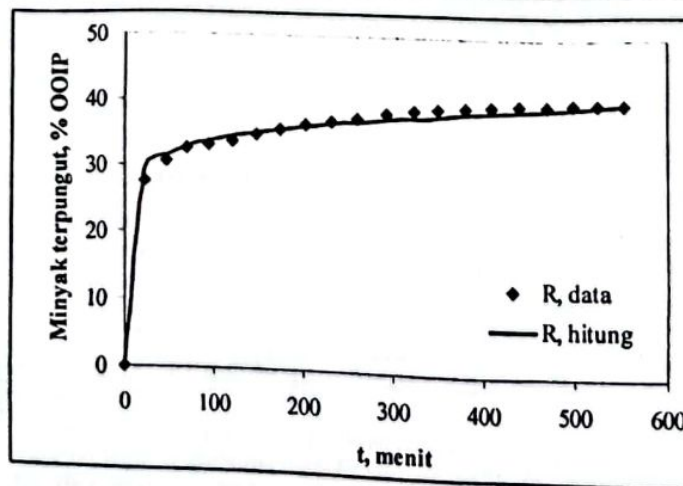
No.	Variabel	k, mD	R <sub>data</sub> %	R <sub>hitung</sub> %	Ralat, %	PVI	Parameter model		
							n <sub>1</sub>	n <sub>2</sub>	M
1	$\mu_{o2}AF_2B_1A_1$	26,9721	40,1420	40,2274	1,7744	4,7822	2,0021	0,2054	6,9823
2	$\mu_{o2}AF_2B_1A_2$	212,3622	40,8597	41,7788	2,6997	6,1214	2,0125	0,1171	8,8007
3	$\mu_{o2}AF_2B_1A_3$	304,8379	44,6017	42,4431	9,3122	3,7250	1,8046	0,2097	8,0134
4	$\mu_{o2}AF_2B_1A_4$	559,1394	49,9300	46,3740	14,0908	4,6588	0,2976	2,1032	12,2019
5	$\mu_{o2}AF_2B_1A_5$	705,1437	49,1795	46,9999	7,8018	4,4600	2,0191	0,2213	8,0027
6	$\mu_{o2}AF_2B_1A_6$	707,7200	52,3844	53,4294	7,4302	3,7507	0,9987	1,0013	6,0

Tabel III-1 menunjukkan bahwa perubahan permeabilitas berpengaruh terhadap perubahan *recovery*. Semakin besar permeabilitas *recovery* juga semakin besar. Hal ini disebabkan karena semakin besar permeabilitas, semakin besar pula kemampuan batuan untuk melewati fluida yang ada di dalamnya.

Variasi permeabilitas untuk proses *water flooding* tidak banyak berpengaruh terhadap perubahan rasio mobilitas, adapun perubahan *M* yang terjadi pada tabel III-1 dapat diambil nilai rerata. Dengan demikian, nilai *M* dapat dikatakan konstan. Sedangkan untuk parameter *n*<sub>1</sub> dan *n*<sub>2</sub> sangat sensitif terhadap perubahan permeabilitas.

Tabel III-2. Minyak terpengut pada berbagai waktu untuk pendesakan dengan air dari percobaan 1 (*L* = 15 cm;  $\phi$  = 0,25; *V*<sub>p</sub> = 43,15 mL; *OOIP* = 21,51 mL;  $\Delta x$  = 0,1 cm;  $\Delta t_w$  = 1 s)

<i>t</i> , detik	R <sub>data</sub> %	R <sub>hitung</sub> %	(1)	(2)	(3)
(1)	(2)	(3)			
0	0	0	259	37,55	37,03
23	27,45	29,40	291	38,33	37,47
46	30,56	31,39	322	38,85	37,87
70	32,63	32,78	349	39,11	38,19
94	33,15	33,68	379	39,47	38,53
120	33,67	34,43	407,5	39,73	38,84
146	34,70	35,07	438,5	39,99	39,16
174	35,48	35,63	468,5	40,09	39,46
202	36,26	36,14	497,5	40,14	39,73
230,5	37,03	36,61	525,5	40,14	39,98
			553,5	40,14	40,23



Gambar 3. Minyak terpengut pada berbagai waktu dari percobaan 1.

#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil percobaan didapatkan nilai parameter model yang dapat digunakan sebagai parameter pada proses EOR. Variasi permeabilitas untuk proses *water flooding* tidak banyak berpengaruh terhadap perubahan rasio mobilitas. Sedangkan untuk parameter  $n_1$  dan  $n_2$  sangat sensitif terhadap perubahan permeabilitas.

#### DAFTAR DAN ARTI LAMBANG

$A$	= Luas penampang media berpori, $\text{cm}^2$	$s_o$	= Saturasi minyak, fraksi
$f_o$	= Fraksi volum minyak dalam aliran	$s_{or.w}$	= Saturasi minyak residu sesudah pendesakan air, fraksi
$f_w$	= Fraksi volum air dalam aliran	$s_w$	= Saturasi air, fraksi
$k$	= Permeabilitas aliran satu fasa, Darcy	$s_{wc.w}$	= Saturasi air kritis sebelum pendesakan air, fraksi
$L$	= Panjang media berpori, cm	$t$	= Waktu, detik
$M$	= Mobilitas rasio minyak-air	$u$	= Kecepatan linier superfisial aliran total, cm/detik
$n_1, n_2$	= Tetapan pada persamaan fraksi air dalam aliran	$u_w$	= Kecepatan linier superfisial aliran pada pendesakan air, cm/detik
PVI	= Rasio volum fluida yang diinjeksikan per volum pori	$V_{oi}$	= Volum minyak awal dalam reservoir, $\text{cm}^3$
$q$	= Debit aliran total, $\text{cm}^3/\text{detik}$	$V_{or}$	= Volum minyak tertinggal dalam reservoir setiap saat, $\text{cm}^3$
$q_o$	= Debit aliran minyak, $\text{cm}^3/\text{detik}$	$\Delta t$	= Inkremen waktu, detik
$q_w$	= Debit aliran air, $\text{cm}^3/\text{detik}$	$\Delta x$	= Inkremen panjang, cm
$R$	= Persen minyak terambil setiap saat, %	$\mu_o$	= Viskositas minyak, cp
$S$	= Reduced water saturation	$\phi$	= Porositas
SSE	= Jumlah kuadrat kesalahan		

#### DAFTAR PUSTAKA

- Bloch, S., 1991, "Empirical Prediction of Porosity and Permeability in Sandstones", *The American Assoc. Pet. Geol. Bull.*, 75, 7, 1145-1160
- Budiaman, I.G.S., 2003, "Aliran Dua Fasa pada Pemungutan Minyak Terpacu pada Batuan Pasir dengan Pendesakan Menggunakan Larutan Surfaktan", Disertasi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Collins, R.E., 1976, "Flow of Fluids through Porous Materials", pp.1-35, The Petroleum Publishing Company, Tulsa.
- Gogarty, W.B., 1983, "Enhanced Oil Recovery Through the Use of Chemicals-Part 1 and Part 2", *Soc. Pet. Eng. of AIME, Distinguished Author Series*, 147-165
- Lake, L.W., 1989, "Enhanced Oil Recovery", pp.1-136, Prentice Hall, Englewood, Cliffs, New Jersey.
- Marle, C.M., 1981, "Multiphase Flow in Porous Media", pp.2-50, Gulf Publishing Company, Book Division Houston, Texas.
- Pertamina UEP-II, 1990, "Kajian Penerapan Teknik Penyerapan Minyak Tahap Kedua Lapangan Tanjung Tiga Timur, KPS Sumatera Selatan", Teknik Reservoir, Eksplotasi, *Proceeding Simposium IATMI*
- Sorbie, K.S., 1991, "Polymer-Improved Oil Recovery", pp. 19-310, Blackie and Son Ltd, Glasgow and London.
- Stevenson, M.D., Kagan, M., and Pinczewski, W. V., 1990, "Computational Methods in Petroleum Reservoir Simulation", *Computer & Fluids*, 19, 1, 1-19.