

## PENGAMATAN MEOR MENGGUNAKAN FORMULA NUTRISI RENDAH GLUKOSA DENGAN METODA IMBIBISI

### *(MEOR Investigation using Low-Glucose Nutrient Formula Applied Imbibition Method)*

Sugihardjo, Zulkifliani, Onie Kristiawan, Cut Nanda Sari, dan Syafrizal

Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Minyak dan Gas Bumi "LEMIGAS"  
Jl. Ciledug Raya Kav.109, Cipulir, Kebayoran Lama, Jakarta Selatan  
Telepon: +62-21-7394422, Fax.: +62-21-7246150

E-mail: [syafrizal.1970@esdm.go.id](mailto:syafrizal.1970@esdm.go.id); [zulkifliani@lemigas.esdm.go.id](mailto:zulkifliani@lemigas.esdm.go.id); [onie.kristiawan@esdm.go.id](mailto:onie.kristiawan@esdm.go.id)

Teregistrasi I tanggal 14 Februari 2019; Diterima setelah perbaikan tanggal 10 April 2019;  
Disetujui terbit tanggal: 30 April 2019.

#### ABSTRAK

Kegiatan skala laboratorium telah dilakukan untuk merancang formula nutrisi MEOR (*Microbial Enhanced Oil Recovery*) dengan bahan dasar rendah-glukosa. Bahan yang dipakai meliputi: limbah cair tahu, air kelapa, limbah cair ikan, limbah pengolahan pati, ekstrak teh, pupuk cair, ekstrak daging sapi, dan pepton. Bahan-bahan tersebut diracik untuk menjadi beberapa formula yang dapat merangsang pertumbuhan mikroba yang terkandung pada percontohan fluida dari sumuran SMR-01, SMR-02, dan SMR-03 sehingga menghasilkan bioproduk yang diperlukan untuk MEOR. Pada seleksi kajian awal ada 48 formula nutrisi, kemudian diseleksi dan diperoleh yang potensial dalam pertumbuhan mikroba sebanyak 8 formula, yaitu 2 macam formula untuk SMR-01, 3 untuk SMR-02, dan 3 juga untuk SMR-03. 8 formula tersebut diinkubasi selama 7 hari dan diamati bioproduknya yang meliputi: pertumbuhan mikroba, pH, IFT, densitas, dan viskositas minyak. Pada tiap formula juga ditambahkan konsorsium mikroba *exogenous* untuk memperkaya jenis mikroba. Uji imbibisi dilakukan terhadap 8 formula tersebut serta ditambah 8 formula lagi dengan menambahkan konsorsium mikroba *exogenous* selama 71 hari. Hasil yang terbaik ternyata ada pada formula  $Ef_1$  dengan penambahan ekstrak teh dan pepton dan  $Ez_1$  dengan tambahan ekstrak teh dan ekstrak *beef* pada fluida SMR-02. Dengan nilai masing masing nilai RF (*recovery factor*) 56,91 untuk  $Ef_1$  dan 55,86% untuk  $Ez_1$ . Oleh karena itu kedua formula tersebut dapat dijadikan acuan untuk implementasi lapangan. Secara ekonomis mungkin  $Ez_1$  akan lebih murah karena prosentase kandungan *extract beef* hanya 10%.

**Kata Kunci:** MEOR (*Microbial Enhanced oil Recovery*), nutrisi, non glukosa, imbibisi, *recovery factor*

#### ABSTRACT

Laboratory experiment has been done to design a formula for MEOR implementation by using low-glucose nutrient. The nutrient base in this study include: tofu liquid waste, coconut water, fish wastewater, starch processing waste, tea extract, liquid fertilizer, and beef extract. Those basic materials are selected and mixed to form several good formulas to stimulate microbial growth in fluid sample of SMR-01, SMR-02, dan SMR-03 and to produce bioproducts for MEOR. Originally, around 48 Formulas has been designed and then based on the capability of microbial growth only 8 formulas have been selected, that are 2 formulas for SMR-01, 3 formulas for SMR-02, and 3 formulas for SMR-03. These eight formulas have been incubated for 7 days to investigated bioproduct formulation, such as: microbial growth, pH, IFT, density, and viscosity oil. To each formula also was added exogeneous consorsium microbe to enrich the types of microbes. Imbibition tests were run for 8 selected formulas and also 8 formulas with

*exogenous consortium microbes for 71 days. The best results are Efl formula, that was added tea extract and pertone, and Ez1, that was added tea extract and beef extract, both formulas are for SMR\_02 fluid. Recovery factor of oil for Efl is around 56,91 and for Ez1 is 55,86%. Therefore, both Formulas can be proposed to be implemented in the fields. But it may be from economic point of view Ez1 will be much cheaper because the small concentration of extract beef, around 10% Only.*

**Keywords:** MEOR (Microbial Enhanced oil Recovery), nutrition, non-glucose, imbibition, recovery factor

## I. PENDAHULUAN

Teknologi MEOR merupakan teknologi yang sangat murah dan ramah lingkungan dan sudah sejak lama dikembangkan oleh LEMIGAS, dengan menggunakan suplemen utama molase, serta beberapa material tambahan pepton, NPK (nitrogen, phosphor, dan kalium), ekstrak ragi dan lain-lainnya (Legowo, et al., 1998). Teknologi MEOR ini dapat dilakukan dengan tiga metoda dalam pelaksanaannya di lapangan: 1. Injeksi nutrisi yang cocok dengan mikroba yang ada di reservoir, 2. Injeksi nutrisi dan mikroba yang sudah terseleksi di permukaan sebelum diinjeksikan ke dalam reservoir, 3. Injeksi bio-produk, dimana mikroba dibiakkan di permukaan dengan nutrisi yang cocok dan hasil bio-produknya yang diinjeksikan ke dalam reservoir. Bio-produk dapat berbentuk berbagai senyawa sesuai rancangan yang dibuat dengan nutrisi yang terpilih. Bio-produk dapat berupa bio-gas, bio-surfaktan, bio-polimer, bio-solven, bio-asam, dan bentuk bahan kimia lainnya.

Selanjutnya Lemigas secara intens telah melakukan penelitian untuk menerapkan MEOR di lapangan Ledok. Sampling dan uji laboratorium untuk menentukan parameter penting telah dilakukan, seperti uji penurunan viskositas, penurunan IFT dan pertumbuhan mikroba, selanjutnya dilakukan uji *core flooding* (Sugihardjo, et al., 1999 dan 2000). Tindak lanjutnya dilakukan injeksi MEOR di lapangan Ledok (Yusuf, et al., 1999, dan 2000). Namun hasilnya belum dapat disimpulkan secara konklusif karena adanya kendala yang sulit diatasi.

Astuti et al. (2017) melakukan studi secara intensif preparasi laboratorium untuk menyiapkan nutrisi untuk aplikasi MEOR di Lapangan Bentayan. Komposisi nutrisi yang optimum terdiri dari molase, garam nitrogen  $(\text{NH}_4)_2\text{PO}_4$ , garam fosfat, dan NPK. Hasilnya menunjukkan degradasi minyak terjadi perubahan komposisi dan penurunan viskositas. Percobaan imbibisi menunjukkan RF (*recovery factor*) sekitar 56%. Ariaaji et al. (2017) melakukan studi terintegrasi mulai dari studi

laboratorium, *history matching proses* dengan simulasi, dan implementasi secara *Huff and Puff* di lapangan Mangunjaya. Dalam studi ini dinyatakan bahwa dengan MEOR dapat menaikkan produksi minyak lebih dari 10% dibandingkan apabila yang diinjeksikan hanya larutan air garam saja. Tidak dijelaskan apakah ada tambahan nutrisi pada mikroba yang diinjeksikan, ataukah tidak ada tambahan nutrisi sama sekali dan hanya menginjeksikan mikroba terpilih saja. Sedangkan Budiharjo et al. (2017) membahas teori tentang mekanisme kerja MEOR dalam meningkatkan perolehan minyak dengan bio-produk yang dihasilkan serta pengaruhnya terhadap perubahan sifat-sifat minyak dan batuan reservoir sehingga minyak dapat diproduksi dengan lebih mudah. Kemudian memberi contoh ada 10 sumur yang telah dilakukan MEOR dan semuanya berhasil meningkatkan RF, sekitar 8 sampai dengan 66%. MEOR secara *huff and Puff* juga dilakukan di lapangan Wintershall (Aditama et al., 2017). Disini dibahas parameter penting dalam MEOR, yang meliputi karakteristik reservoir, *well integrity*, *injectivity test*, *fall off test*, persiapan operasi (program pengawasan, daftar operasi, fasilitas permukaan), operasi injeksi (pencatatan data injeksi maupun produksi). Jadi MEOR dapat dioperasikan secara *huff and puff* sesuai target yang akan dicapai dan terhindar dari masalah seperti terbentuknya  $\text{H}_2\text{S}$  yang diproduksi oleh mikroba.

Untuk melakukan studi interaksi antara fluida injeksi dan batuan reservoir dapat dilakukan dengan dua cara yaitu: imbibisi dan *core flooding*. Pada studi ini kita menggunakan metode imbibisi untuk mengetahui kinerja MEOR pada batuan reservoir. Pada proses imbibisi ada beberapa tenaga yang bekerja meningkatkan perolehan minyak seperti, perubahan sifat kebasahan batuan, *buoyancy*, *counter current and co-current*, *gravity*, *transverse pressure gradient and capillary pressure* (Morrow et al., 2001 dan Zhang et al., 2008). Ma et al. (1999) menyatakan ada beberapa parameter penting dalam proses imbibisi yaitu: tegangan antar muka, viskositas, geometri batuan, kondisi bentuk bagian luar batuan, struktur batuan dan struktur batuan terluar penentu

sifat kebasahan, diameter pori penentu permeabilitas dan porositas. Parameter-parameter tersebut sangat penting oleh sebab itu Ma et al. (1997) membuat korelasi semi empiris sebagai berikut:

$$t_D = t \sqrt{\frac{k}{\phi}} \frac{\sigma}{\sqrt{\mu_o \mu_w}} \frac{1}{L_c^2}$$

Dimana  $t_D$  = waktu tanpa dimensi,  $t$  = waktu,  $k$  = permeability,  $\phi$  = porositas,  $\sigma$  = tegangan antar muka,  $\mu_o$  dan  $\mu_w$  viskositas minyak dan air.  $L_c$  adalah karakteristik panjang dan ukuran percontoh.

Sebagai contoh surfaktan anionik dapat merubah sifat kebasahan batuan kalsit ke cenderung lebih intermediat atau basah air dibandingkan kationik surfaktan (Seethepalli et al., 2004). Kemudian Tie et al. (2005) mengamati batuan dengan VSWW (*very strong water wet*) dapat menghasilkan RF terbaik dibandingkan dengan MXW (*mixed wet*) pada proses imbibisi. MES (*Methyl Ester Sulfonates*) digunakan dalam proses imbibisi pada batuan memperoleh RF antara 67,07 sampai dengan 92,25% (Sugihardjo, 2013).

Pada kegiatan ini berusaha membuat formula dengan bahan utama rendah glukosa, diantaranya menggunakan bahan limbah yang sudah tidak terpakai selanjutnya dilakukan studi secara intensif di laboratorium seperti standar studi untuk persiapan implementasi MEOR di Lapangan minyak, yaitu uji imbibisi pada batuan untuk mengetahui efektivitas pendesakan dan RF dalam skala laboratorium.

## II. BAHAN DAN METODE

Metodologi pada studi terdiri dari beberapa tahap yang meliputi:

### A. Analisa fluida dan batuan reservoir

Fluida dan batuan reservoir diambil dari beberapa sumur uji yaitu Sumur-01, Sumur-02, dan Sumur-03. Kemudian dianalisis sifat-sifat fisika-kimia minyak dan komposisi batuan serta kandungan jenis mikroba dan parameter mikrobiologi pada setiap percontoh yang diambil. Sedangkan nutrisi rendah glukosa yang digunakan berbahan dasar limbah, yaitu: limbah cair tahu, Air kelapa, limbah cair ikan, limbah pengolahan pati, ekstrak teh, pupuk cair, sari daging sapi. masing masing dianalisis komposisi kandungannya.

### B. Uji formulasi nutrisi

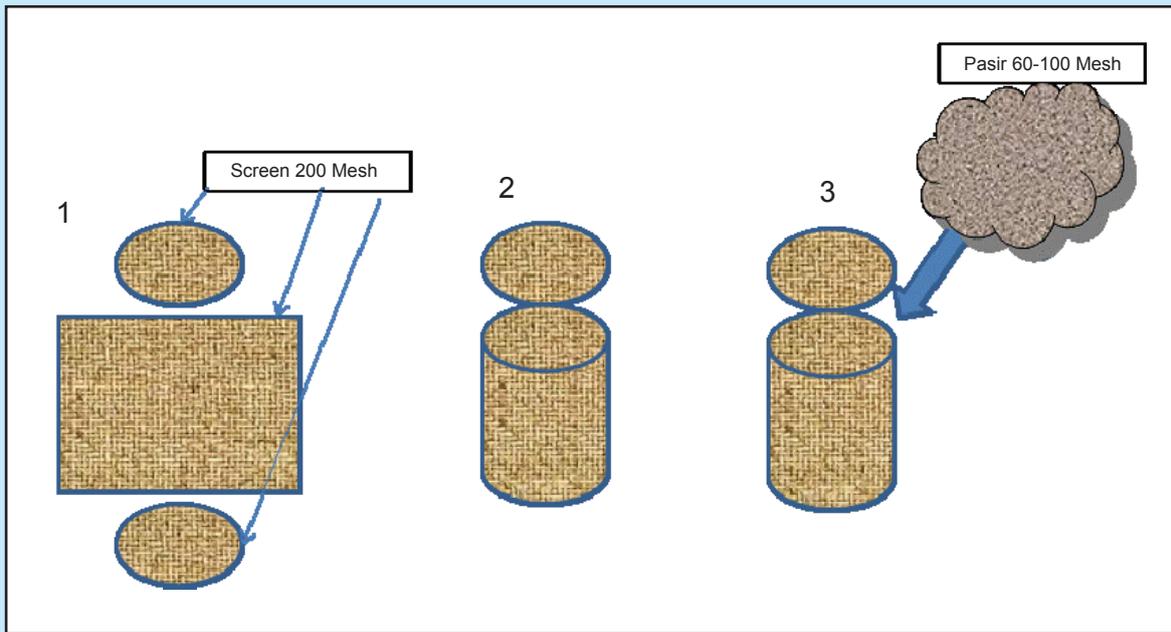
Formulasi nutrisi dibuat dengan mengkombinasikan bahan dasar limbah diatas dan

menambahkan dengan media pertumbuhan dasar mikroba yaitu pepton, *beef extract*, dan larutan mineral. Formula terpilih untuk SMR-01 adalah 20% air kelapa + 50% pepton + 2% *crude oil* (kode: Bf) dan 3% ekstrak teh + 50% *beef extract* + 2% *crude oil* (kode: Ed). Formula terpilih untuk SMR-02 adalah 20% air kelapa + 25% *beef extract* + 25% pepton + 2% *crude oil* (kode: Bb) dan 3% ekstrak teh + 50% pepton + 2% *crude oil* (kode: Ef). Sedangkan formula terpilih untuk Sumur-03 adalah 20% air kelapa + 50% *beef extract* + 2% *crude oil* (kode: Bd), 2% pati + 50% *beef extract* + 2% *crude oil* (kode: Cd), dan 3% ekstrak teh + 50% *beef extract* + 2% *crude oil* (kode: Ed). Selain itu, diujikan juga formulasi tambahan yaitu 3% ekstrak teh + 10% *beef extract* dalam air formasi (kode: Ez). Terhadap masing-masing formula nutrisi dilakukan uji parameter penting MEOR seperti: pertumbuhan mikroba, uji karakteristik bioproduct (pH, IFT, densitas dan viskositas).

### C. Uji Imbibisi

Uji imbibisi dilakukan untuk mengetahui kemampuan bioproduct terbaik pada proses pendesakan minyak dalam MEOR (pendesakan fluida *non wetting phase* oleh *wetting phase* dalam media berpori). Uji imbibisi menggunakan batu-inti namun percontoh batu-inti yang tersedia berupa batuan yang sudah tidak bisa dibentuk menjadi silindris. Oleh karena itu dilakukan beberapa tahap persiapan untuk pembuatan *plug* batu-inti dari batu-inti yang tidak kompak. Proses pembuatan *plug* batu-inti yaitu pertama yang dilakukan adalah menghaluskan contoh batu-inti menjadi butiran, kemudian disaring dengan saringan 60 dan 100 mesh, butiran yang berukuran antara 60 dan 100 mesh yang akan digunakan sebagai *plug* batu-inti. Disiapkan *screen* kawat 200 mesh, dibentuk tabung kawat dengan diameter 2.5cm panjang 4cm, kemudian masukan butiran batu-inti (*cutting*) 60-100 mesh (lihat Gambar 1), dilakukan agitasi/digetarkan sehingga pasir *settling* dan isi pasir sampai penuh, tutup bagian atas secara rapat (Lihat Gambar 2).

Batu-inti kemudian dijenuhi dengan minyak dan kemudian direndam dalam masing masing nutrisi potensial yang sudah disiapkan di dalam tabung imbibisi. Pada uji imbibisi dihitung minyak yang dapat keluar dari masing masing tabung percobaan dan dihitung RF minyak yang keluar dari batuan. Pengamatan dilakukan selama 71 hari.



**Gambar 1**  
Persiapan pembuatan *plug* batu-inti untuk proses imbibisi.



**Gambar 2**  
*Plug* batu-inti dari batu pasir lepas.

### III. HASIL DAN DISKUSI

#### A. Analisa air formasi

Percontoh fluida (air formasi) dan batuan inti dari sumur-01, -02, dan -03 kemudian dianalisis sifat fisika-kimia serta identifikasi mikrobiologinya. Tabel 1 menggambarkan hasil dari analisis tersebut.

Berdasarkan pengujian fisika-kimia yang dilakukan terhadap air formasi (Tabel 1), terlihat bahwa Sumur-01 agak berbeda dengan Sumur-02 dan Sumur-03. Perbedaan hasil pengujian fisika-kimia terhadap sumur-sumur tersebut terlihat pada parameter suhu, pH, konduktivitas, salinitas, COD, serta beberapa komponen anion dan kation. Hal ini

**Tabel 1**  
**Hasil analisis fisika-kimia air formasi SMR-01, SMR-02, dan SMR-03**

No.	Parameter	Air Formasi			Satuan
		SMR-01	SMR-02	SMR-03	
1	Suhu	30	49	50	°C
2	pH	7,19	6,48	6,81	-
3	Konduktivitas	16,7	33,7	31,2	ms/cm
4	Salinitas	0,98	2,13	1,97	%
5	COD	112	85	71	mg/L
6	Total Fenol	0,42	nil	0,47	mg/L
7	Anion & Kation				
	Na	5,82	5,66	5,47	mg/L
	Ca	4,14	2,69	2,37	mg/L
	Mg	2,58	2,41	2,28	mg/L
	Fe	2,12	nil	nil	mg/L
	Cl <sup>-</sup>	3289,89	8873,89	7890,71	mg/L
	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	1220,71	2067,73	2640,71	mg/L
	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	134,77	490,08	716,74	mg/L
	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	795,02	913,53	795,02	mg/L
8	Oil & grease	nil	nil	nil	mg/L

dapat terjadi karena perbedaan lapisan ketiga sumur uji.

### B. Analisis mikrobiologi

Sedangkan analisis mikrobiologi, pada air formasi Sumur-01 teridentifikasi hanya satu jenis bakteri yaitu *Bacillus* sp. sedangkan pada air formasi Sumur-02 dan Sumur-03 teridentifikasi masing-masing dua jenis bakteri namun dengan genus yang berbeda yaitu *Providencia alcalifaciens* dan *Bacillus* sp. pada air formasi Sumur-02 serta *Bacillus* sp. dan *Cellulomonas* sp. pada air formasi Sumur-03 (Gambar 3). Dari hasil identifikasi ini terlihat bahwa genus *Bacillus* terdapat pada setiap sumur walaupun spesiesnya belum diketahui lebih detail. Oleh karena itu nutrisi dasar *beef extract*, pepton, dan larutan mineral sangat penting untuk mengaktifasi bakteri yang ada pada setiap air formasi yang diuji (*indigenous bacteria*).

### C. Analisis Percontohan Nutrisi

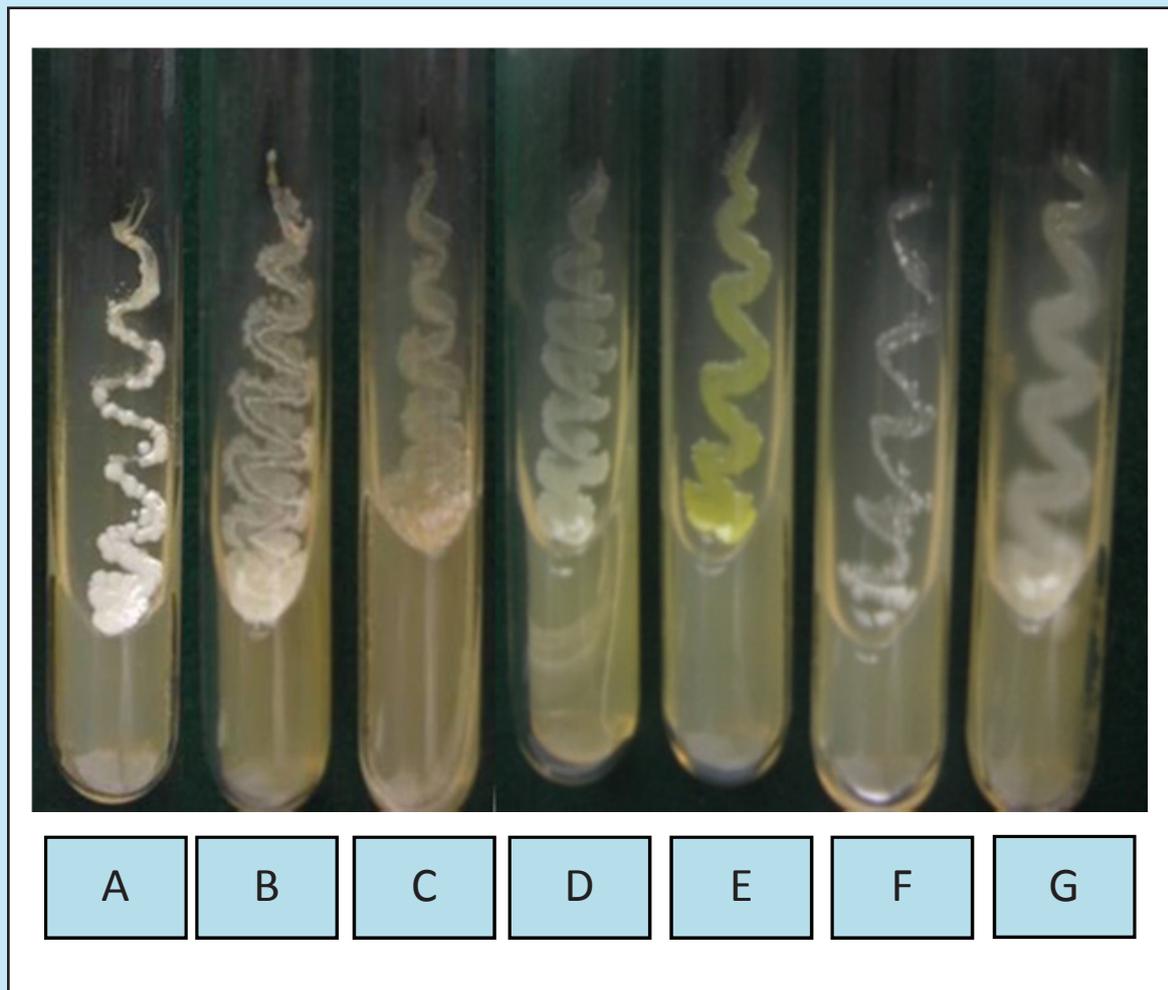
Nutrisi mikroba yang diujikan adalah nutrisi dengan kandungan glukosa minimal, sebagai upaya

menurunkan biaya produksi secara keseluruhan. Beberapa nutrisi yang berasal dari pemanfaatan limbah dicoba pada penelitian ini yaitu:

- Limbah cair tahu
- Air kelapa
- Limbah cair ikan
- Limbah pengolahan pati
- Ekstrak teh
- Pupuk cair
- Peptone
- Ekstrak daging sapi

#### 1. Limbah Cair Tahu

Limbah cair tahu yang tidak dimanfaatkan untuk proses lebih lanjut, dapat dijadikan alternatif baru sebagai sumber nutrisi. Hal ini disebabkan karena dalam limbah cair tahu tersebut diperkirakan masih banyak mengandung unsur yang dapat dimanfaatkan untuk sumber nutrisi pertumbuhan mikroba seperti yang terlihat pada Tabel 2.



Gambar 3

Jenis Isolat SMR-01: *Bacillus* sp. (A), SMR-02: *Providencia alcalifaciens* (B) dan *Bacillus* sp. (C), SMR-03: *Bacillus* sp. (D), *Cellulomonas* sp. (E), *Bacillus* sp. (F), dan *Bacillus* sp. (G)

## 2. Air Kelapa

Komposisi air kelapa tergantung pada umur kelapa dan varietasnya. Adapun komposisi air kelapa seperti disajikan pada Tabel 3.

Penelitian-penelitian yang memanfaatkan air kelapa dipakai untuk media pertumbuhan bakteri diantaranya sebagai media dasar isolasi beberapa spesies *Enterobacteriaceae* dan bakteri gram positif (Yolanda, 2011). Selain itu, air kelapa dapat dimanfaatkan juga sebagai media perbanyakan *Bacillus thuringiensis* (Misfit, 2007).

## 3. Limbah Ikan

Komponen ikan yang terdiri dari daging, kulit, sirip, enzim, hormon, darah, sel-sel hati, dan ginjal yang hampir seluruhnya mengandung protein dengan komposisi seperti pada Tabel 4.

## 4. Limbah Pati

Pati adalah polisakarida yang terdapat dalam biji, umbi, ataupun akar tumbuhan. Pati merupakan polimer D-glukosa yang terdeposit pada bagian tumbuhan dalam bentuk granula yang bervariasi ukurannya. Pati ubi kayu memiliki potensi yang tinggi karena mengandung karbohidrat yang terdiri dari amilosa dan amilopektin (Effendi, 2010). Dalam industri bioproses, pati ubi kayu dapat digunakan sebagai bahan baku gula cair, metanol, dan dekstrin. Gula cair hasil hidrolisis pati ubi kayu, secara asam maupun enzimatik, selama ini diserap oleh pabrik jamu, madu, permen, dan *soft drink*. Gula cair dapat digunakan sebagai media pertumbuhan mikroba penghasil *gum xanthan*, biosurfaktan (bahan dasar deterjen, kosmetik dan sebagainya), dan poli-beta-hidroksi butirat (bahan

untuk pembuat plastik). Komposisi utama pati ubi kayu dapat dilihat dari Tabel 5.

### 5. Ekstrak Teh

Teh merupakan salah satu bahan minuman yang paling populer di dunia. Mengingat bahwa teh mengandung zat gizi dan berkhasiat bagi kesehatan tubuh, maka teh dianggap sebagai salah satu *functional food*. Kandungan komponen aroma (*volatile*) dalam teh hitam sebanyak 404 macam dan sekitar 230 macam dalam teh hijau. Komponen aroma tersebut berperan dalam memberikan cita rasa yang khas pada teh. Komponen utama teh adalah polifenol, yaitu ikatan biokimia yang termasuk kelompok antioksidan yang secara alami ditemukan pada sayuran, buah, dan minuman seperti teh dan anggur. Kandungan vitamin dalam teh meliputi vitamin C, vitamin E, dan vitamin K. Kandungan vitamin dalam teh berkurang selama proses pengolahan. Sedangkan kandungan mineral dalam teh cukup tinggi, baik mineral makro maupun mineral mikro. Mineral ini berfungsi dalam pembentukan enzim di dalam tubuh (Muhammad Ishak, 2008).

### 6. Pupuk Cair

Pupuk organik cair dihasilkan oleh pembusukan bahan-bahan organik melalui proses biologi. Pupuk cair ini mengandung campuran nutrisi organik yang seimbang seperti protein, asam amino, asam organik, karbohidrat, dan mineral yang dapat meningkatkan hasil dan kualitas tanaman. Mengingat komposisi yang terkandung dalam pupuk cair organik ini cukup lengkap, pupuk cair mungkin dapat digunakan sebagai nutrisi pertumbuhan mikroba seperti yang terlihat dari Tabel 6.

### 7. Ekstrak Daging Sapi

Nutrisi ini sangat baik untuk pertumbuhan beberapa macam bakteri. Bahan ekstrak daging sapi berbentuk bubuk kering dan halus, dapat dikombinasikan dengan berbagai macam bahan lain untuk pertumbuhan bakteri yang baik.

**Tabel 2**  
Kandungan limbah cair tahu

Komposisi	Persentase (%)
Oligosakarida	60-80
Protein	9
Lemak	10
Padatan	1

Sumber : Darmajana (1995)

**Tabel 3**  
Komposisi air kelapa

Komposisi	Persentase (%)
Energi	1
Karbohidrat	3
Lemak	1
Protein	1,5
Serat	3
Vitamin	10
Elektrolit	13
Mineral	17

Sumber: USDA National Nutrient data base

**Tabel 4**  
Komposisi limbah cair ikan

Komposisi	Persentase (%)
Air	76
Protein	17
Lemak	4,5
Mineral dan Vitamin	2,52-4,5

Sumber: www.ristek.go.id

**Tabel 5**  
Komposisi pati ubi kayu

Komposisi	Persentase (%)
Karbohidrat	88,21
Lemak	0,5
Protein	1,1
Air	9,1
Abu	1,09

Sumber: Rukmana, 1997

Biasanya digunakan dalam proses fermentasi. Komposisinya dapat disajikan pada Tabel 7 dibawah ini.

#### D. Formulasi Nutrisi

Pada formulasi nutrisi hanya disajikan formula yang dievaluasi menghasilkan bioproduk cukup bagus yaitu: 2 formulasi untuk Sumur-01, 2 formulasi untuk Sumur-02, dan 3 formulasi untuk Sumur-03 berdasarkan jumlah populasi mikroba tertinggi. Formulasi terpilih untuk Sumur-01 adalah 20% air kelapa + 50% pepton + 2% *crude oil* (kode: Bf) dan 3% ekstrak teh + 50% *beef extract* + 2% *crude oil* (kode: Ed). Formulasi terpilih untuk Sumur-02 adalah 20% air kelapa + 25% *beef extract* + 25% pepton + 2% *crude oil* (kode: Bb) dan 3% ekstrak teh + 50% pepton + 2% *crude oil* (kode: Ef). Sedangkan formulasi terpilih untuk Sumur-03 adalah 20% air kelapa + 50% *beef extract* + 2% *crude oil* (kode: Bd), 2% pati + 50% *beef extract* + 2% *crude oil* (kode: Cd), dan 3% ekstrak teh + 50% *beef extract* + 2% *crude oil* (kode: Ed). Selain itu, diujikan juga formulasi tambahan yaitu 3% ekstrak teh + 10% *beef extract* dalam air formasi (kode: Ez).

Tabel 8 adalah hasil evaluasi bioproduk dari formula kombinasi beberapa nutrisi yang digunakan. Jumlah populasi bakteri pada hari ketujuh mengalami peningkatan yang signifikan untuk masing-masing formulasi jika dibandingkan dengan kontrol. Nutrisi yang terkandung di dalam air kelapa, ekstrak teh, dan pati mampu mendorong pertumbuhan sel bakteri selama tujuh hari masa inkubasi. Derajat keasaman formulasi yang mengandung air kelapa mengalami penurunan pada hari ketujuh setelah inkubasi. Sama halnya dengan formulasi yang mengandung pati (Cd) juga mengalami penurunan nilai pH pada hari ketujuh. Penurunan nilai pH dari netral menjadi asam pada formula nutrisi disebabkan oleh proses fermentasi yang dihasilkan oleh air kelapa selama inkubasi. Namun demikian, penurunan nilai pH ini masih berada pada kisaran normal, dimana bakteri *indigenous* air formasi masih dapat hidup didalamnya.

**Tabel 6**  
**Komposisi pupuk cair**

Komposisi	Persentase (%)
Nitrogen	5,48
Pospor	3,33
Zinc	0,53
Iron	0,32
Magnesium	0,26
Copper, Cobalt, Sulfur	1,01

Sumber: Nutrifarm™ AG

**Tabel 7**  
**Komposisi ekstrak daging sapi (*beef extract*)**

Jenis analisis	(% w/w)
Total Nitrogen	13.3
Amino Nitrogen	2.5
Sodium chloride	1.1
pH (2% solution)	7.2 ± 0.2

LAB-LEMCO Oxoid LP0029

Berbeda dengan formula air kelapa dan pati, formula yang mengandung ekstrak teh menunjukkan nilai pH yang cenderung stabil. Setelah tujuh hari masa inkubasi, pH formula yang mengandung ekstrak teh tetap pada kondisi netral untuk ketiga sumur uji. *Interfacial tension* (IFT) masing-masing formulasi dan sumur kandidat bervariasi pada hari pertama hingga hari ketujuh setelah inkubasi. Penurunan nilai IFT terbaik terlihat pada formulasi air kelapa dan ekstrak teh dalam air formasi Sumur-02. Parameter IFT adalah salah satu parameter penting dalam mempelajari karakteristik *crude oil*. Formulasi nutrisi yang diaplikasikan pada sumur kandidat diharapkan dapat menurunkan nilai IFT selama masa inkubasi, dimana tegangan antarmuka fase air dan fase minyak dapat diturunkan oleh adanya bioproduk yang dihasilkan oleh formulasi uji yang digunakan.

Densitas air formasi dan *crude oil* selama inkubasi tujuh hari mengalami sedikit peningkatan meskipun nilainya tidak signifikan. Peningkatan nilai densitas

**Tabel 8**  
**Hasil karakteristik bioproduk**

Sumur	Kode	TPC (cfu/mL)		pH		IFT (mN/M)		Densitas AF (gr/cm <sup>3</sup> )		Densitas Oil (gr/cm <sup>3</sup> )		Viskositas (mm <sup>2</sup> /sec)	
		H-0	H-7	H-0	H-7	H-0	H-7	H-0	H-7	H-0	H-7	H-0	H-7
SMR-01	Kontrol	10 x 10 <sup>2</sup>	12 x 10 <sup>4</sup>	7,89	7,76	10,81	5,04	10,178	10,179	0,8775	0,8912	3,043	6,455
	Bf	61 x 10 <sup>4</sup>	24 x 10 <sup>6</sup>	7,34	6,04	9,83	11,54	10,178	0,9982	0,8775	0,8839	3,043	3,46
	Ed	43 x 10 <sup>4</sup>	41 x 10 <sup>6</sup>	7,44	7,56	11,42	12,19	10,179	10,070	0,8775	0,8836	3,043	3,51
SMR-02	Kontrol	34 x 10 <sup>2</sup>	10 x 10 <sup>4</sup>	9,07	8,89	2,79	3,83	10,163	10,165	0,8554	0,8587	2,59	6,324
	Bb	20 x 10 <sup>3</sup>	15 x 10 <sup>7</sup>	8,32	5,98	6,07	0,09	10,144	10,152	8554	0,8541	2,59	3,671
	Ef	11 x 10 <sup>3</sup>	14 x 10 <sup>6</sup>	8,93	7,88	6,17	1,33	10,168	10,169	0,8531	0,8523	2,59	3,48
SMR-03	Ez	12 x 10 <sup>3</sup>	17 x 10 <sup>7</sup>	8,92	7,85	6,15	1,30	10,165	10,160	0,8526	0,8517	2,46	3,43
	Kontrol	57 x 10 <sup>2</sup>	17 x 10 <sup>4</sup>	8,4	8,8	9,99	4,05	10,156	10,155	0,8434	0,8432	2,144	6,355
	Bd	24 x 10 <sup>3</sup>	75 x 10 <sup>6</sup>	8,04	5,45	6,37	6,15	10,145	10,145	0,8434	0,8423	2,144	3,057
	Cd	16 x 10 <sup>4</sup>	91 x 10 <sup>6</sup>	8,76	5,98	7,15	6,88	10,165	10,171	0,8435	0,8415	2,144	2,998
	Ed	20 x 10 <sup>3</sup>	60 x 10 <sup>6</sup>	7,83	8,2	10,53	8,7	10,157	10,159	0,8471	0,8419	2,144	3,035

ini dapat disebabkan oleh metabolit yang dihasilkan oleh bakteri *indigenus* selama masa inkubasi. Sama halnya dengan densitas, viskositas *crude oil* masing-masing sumur kandidat dalam formulasi nutrisi mengalami peningkatan pada hari ketujuh. Hal ini dapat disebabkan oleh proses penguapan selama inkubasi, dimana media disimpan dalam inkubator pada suhu 50°C. Penyimpanan formula pada suhu tersebut dalam waktu tujuh hari memungkinkan terjadi penguapan, dimana fraksi ringan dari *crude oil* berkurang bahkan hilang sehingga fraksi berat dari *crude oil* terukur lebih viskos.

Secara umum, parameter yang dapat dijadikan dasar dalam seleksi nutrisi mikroba adalah jumlah populasi. Formulasi terpilih pada tahap ini tidak menunjukkan perubahan nilai masing-masing parameter pH, IFT, densitas, dan viskositas secara signifikan. Untuk mengetahui jenis bioproduk yang dihasilkan selama proses ini perlu dilakukan uji lebih lanjut dengan melakukan uji imbibisi untuk mengetahui tingkat efisiensi pendesakan minyak di dalam batu-inti dengan melihat hasil RF (*Recovery Factor*) nya.

#### E. Imbibisi

Imbibisi adalah proses pendesakan terhadap fluida *non-wetting phase* (minyak) oleh fluida *wetting phase* (air atau larutan surfaktan). Imbibisi terjadi ketika batuan *porous* yang berisi fluida mengalami kontak dengan fluida lain yang dapat

membasahi batuan tersebut. Jika batuan *porous* terisi oleh minyak yang tersaturasi diatas nilai residualnya, maka air atau fluida lain yang lebih membasahi dapat masuk ke dalam ruang pori-pori dan mendesak sebagian minyak yang terjebak didalamnya.

Formula nutrisi yang digunakan dalam analisis imbibisi sama dengan formula nutrisi pada uji karakteristik bioproduk dikurangi formula Cd karena terbatasnya percontoh batu-inti. Dalam kegiatan ini ditambahkan formula yang mengandung konsorsium *exogeneous* koleksi Lemigas. Untuk memudahkan pengamatan perlakuan *indigenus* atau *exogenous*, kode masing-masing formula diberi tanda dibelakangnya, seperti Bf1 untuk formula yang hanya mengandung mikroba *indigenus* dan Bf2 untuk yang mengandung mikroba *indigenus* dan konsorsium *exogenous*.

Gambar 5 adalah proses uji imbibisi menggunakan tabung imbibisi yang dimasukkan ke dalam oven agar panasnya terjaga sesuai suhu reservoirnya. Hasilnya ditunjukkan pada Tabel 9, yang menggambarkan hasil RF seluruh percobaan. Terlihat bahwa proses imbibisi pada media yang menggunakan minyak dari sumur SMR-02 cenderung mengalami peningkatan yang signifikan dibandingkan sumur SMR-01 dan SMR-03. Apabila dilihat dari variasi formulasi nutrisi, ekstrak teh memiliki nilai *oil recovery* yang cenderung lebih tinggi dibandingkan

dengan penggunaan air kelapa, baik pada penambahan bakteri *indigenous* maupun *exogenous*. Hasil imbibisi secara grafis ditunjukkan pada Gambar 6 selama proses imbibisi selama 71 hari.

Kombinasi properti fluida dan batuan reservoir SMR-02 dengan nutrisi ekstrak teh ( $Ef_1$  dan  $Ez_1$ ) paling sesuai, sehingga dapat menghasilkan *oil recovery* paling tinggi dibandingkan dengan kombinasi formula lainnya. Kombinasi yang potensial tersebut memungkinkan terjadinya perubahan properti fluida dan batuan reservoir yang bisa mendukung peningkatan



Gambar 5  
Proses imbibisi.

Tabel 9  
Hasil uji imbibisi media terseleksi (71 hari inkubasi)

FORMULA MEDIA	BERAT, DENSITAS, VOLUME				Volume awal dalam core (mL)	Oil Recovery (mL)	Oil Recovery (%)
	A	B	C	D			
SMR-01 (Bf) <sub>1</sub>	200,954	266,174	0,8775	74,325	74,325	0,4	5,38
SMR-01 (Bf) <sub>2</sub>	177,651	23,527	0,8775	65,663	65,663	0,5	7,61
SMR-01 (Ed) <sub>1</sub>	212,491	275,627	0,8775	71,950	71,950	2,4	33,36
SMR-01 (Ed) <sub>2</sub>	190,609	256,516	0,8775	75,108	75,108	0,45	5,99
SMR-01 (Kontrol)	185,772	243,276	0,8775	65,532	65,532	2,2	33,57
SMR-02 (Bb) <sub>1</sub>	220,476	291,091	0,8554	82,552	82,552	1,7	20,59
SMR-02 (Bb) <sub>2</sub>	207,721	268,515	0,8554	71,071	71,071	0,8	11,26
SMR-02 (Ef) <sub>1</sub>	193,438	256,568	0,8554	73,802	73,802	4,2	56,91
SMR-02 (Ef) <sub>2</sub>	198,068	263,351	0,8554	76,319	76,319	2,9	38,00
SMR-02 (Ez) <sub>1</sub>	192,302	253,092	0,8554	71,066	71,066	3,97	55,86
SMR-02 (Ez) <sub>2</sub>	196,542	259,787	0,8554	73,936	73,936	2,73	36,92
SMR-02 (Kontrol)	229,140	297,310	0,8554	79,694	79,694	1,5	18,82
SMR-03 (Bd) <sub>1</sub>	178,325	231,717	0,8434	63,306	63,306	2,1	33,17
SMR-03 (Bd) <sub>2</sub>	222,298	260,612	0,8434	45,428	45,428	1	22,01
SMR-03 (Ed) <sub>1</sub>	227,882	29,442	0,8434	78,893	78,893	3	38,03
SMR-03 (Ed) <sub>2</sub>	185,861	242,287	0,8434	66,903	66,903	3,2	47,83
SMR-03 (Kontrol)	204,358	261,881	0,8434	68,204	68,204	2,3	33,72

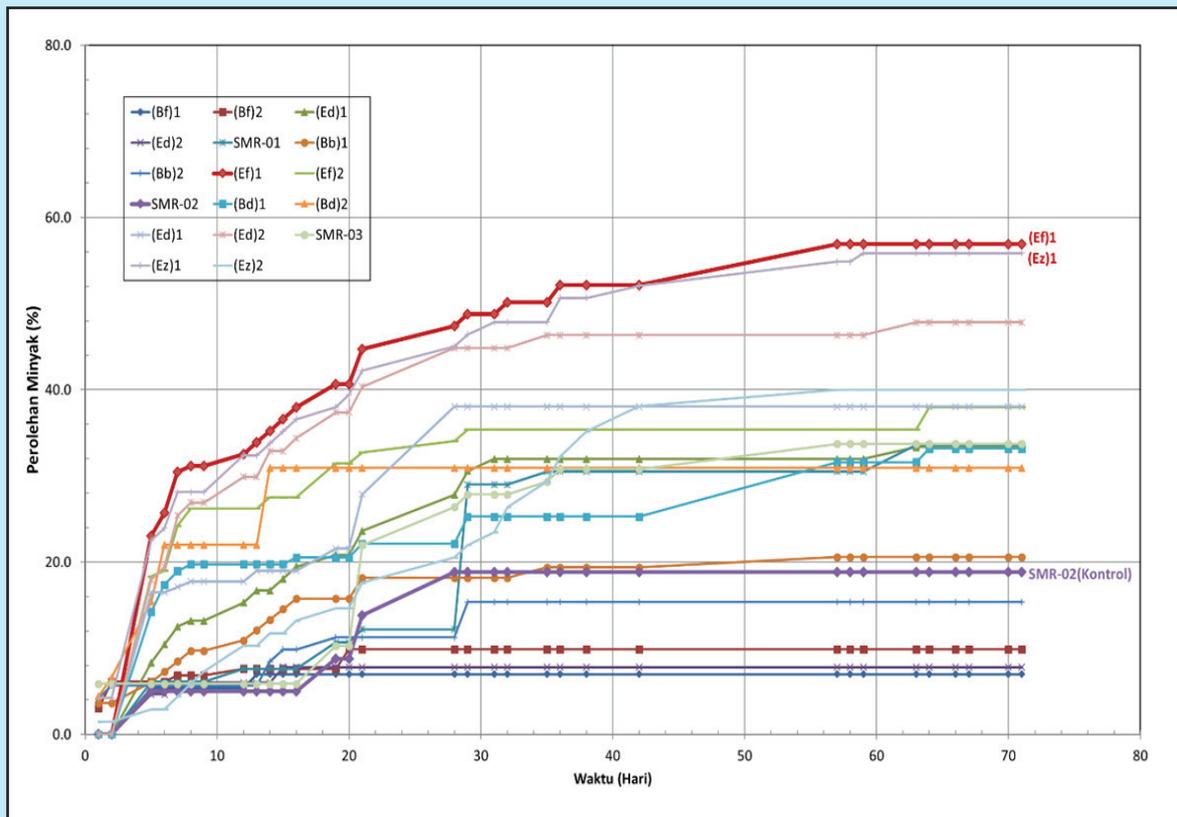
Keterangan:

A = berat kering core sebelum divakum

B = berat wadah dan isi setelah direndam minyak

C = densitas crude oil (g/mL)

D = volume bersih minyak dalam core (mL)



Gambar 6  
Perolehan minyak pada proses imbibisi.

produksi minyak, seperti: perubahan sifat kebasahan batuan dan emulsifikasi. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengetahui proses ini secara kualitatif dan kuantitatif.

Formulasi nutrisi yang menunjukkan proses yang paling baik hingga hari ke-71 adalah media yang menggunakan nutrisi ekstrak teh tanpa penambahan konsorsium mikroba *exogenous* dari sumur SMR-02 (Ef)<sub>1</sub>, dimana pada hari ke-71, nilai *oil recovery* dapat mencapai 55,91%. Uji yang lain juga menunjukkan hasil *recovery* minyak yang baik sebesar 55,86% (Ez)<sub>1</sub>.

#### IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan yang dapat ditarik dari studi ini yang dapat menjadi pilihan untuk diimplementasikan di lapangan adalah Formula nutrisi dengan campuran 3% ekstrak teh dan 10% *beef extract* yang mampu menumbuhkan jumlah populasi mikroba dan hasil imbibisi yang paling baik pada sample SMR-02, mempunyai potensi dikembangkan dalam kegiatan MEOR. Disarankan untuk melakukan penelitian lebih detail dengan percobaan *core flooding* agar penentuan *oil recovery factor* lebih akurat.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih yang besar kepada PERTAMINA UTC yang telah mendukung secara finansial terhadap penelitian ini.

#### KEPUSTAKAAN

- Aditama, P.E., Avbelj, Reimana S., Dopffel, N.M., Poulsen, M., Jelinek, W., & Alkan, H., 2017. Design and Execution of an MEOR Huff and Puff Pilot in a Wintershall Field. Paris - France, Society of Petroleum Engineers.
- Ariadji, T., Astuti, D.I., Aditiawati, P., Purwase, I.A., Persada, G.P., Soeparmono, M.R., Amirudin, N.H., Anangadipa, A.A., Sasongko, S.Y., Abqory, M.H., Ardianto, R.N., Subiantoro, E., & Aditya, G.H., 2017. Microbial Huff and Puff Project at Mangunjaya Field Wells: The First in Indonesia Towards Successful MEOR Implementation. Jakarta - Indonesia, Society of Petroleum Engineers.
- Astuti, D.I., Ariadji, T., Aditiawati, P., Purwasena, I.A., Persada, G.P., Anangadipa, A.A., Dewi, U.R., Khendarsyah, D.D., Rizki, R.; Abqory, M.H., & Ardianto, R.N., 2017. A comprehensive

- Preparation Study for Microbial Nutrient Injection of Microbials Enhanced Oil Recovery: Reservoir Screening and Laboratory Analysis- Case Study Bentayan Field. Jakarta, Indonesia, SPE/IATMI.
- Budiharjo, H., Suhascaryo, N., Hugroho, H. & Saputra, B.**, 2017. Optimizing Oil Recovery through Microbial Injection to Support the Increasing Demand for Oil in Indonesia. Jakarta, Indonesia,, SPE/IATMI.
- Darmajana, D. & Sukarwanto**, 1995. Seminar Ilmiah Hasil Penelitian dan Pengembangan Bidang Fisika (Pemanfaatan Limbah Cair Tahu untuk Pembuatan Nata de Soya). [Online] Available at: [http://www.ukuranketebalannata\\_natadesoya.pdf](http://www.ukuranketebalannata_natadesoya.pdf)
- Effendi, P.**, 2010. ajian Karakteristik Fisik Mocaf (Modified Cassava Flour) dari Ubi Kayu (*Manihot esculenta* Crantz) Varietas Malang-I dan Varietas Mentega dengan Perlakuan Lama Fermentasi. Skripsi., Surakarta.: Universitas Sebelas Maret.
- Hongguang, T. & Morrow, N. R.**, 2005. Oil Recovery By Spontaneous Imbibition Before And After Wettability Alteration Of Three Carbonate Rocks By A Moderately Asphaltic Crude Oil. Toronto - Canada, Chemical & Petroleum Engineering Department.
- Legowo, Evita H., Yusuf, Agus, Udiharto, M., Kadarwati, Sri, & Rahman, Maizar**, 1998. Experiment of Microbial Core Flooding Using Molasses as a Supplement.. Indonesia, Indonesian Petroleum Association, p. 363.
- Ma, S., Morrow, N. & Zhou, X.**, 1997. Generalized Scaling of Spontaneous Imbibition Data for Strongly Water-wet Systems. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, November, 18(3-4), pp. 165-178.
- Ma, S., Zhang, X., Morrow, N. & Zhou, X.**, 1999. Characterization of Wettability From Spontaneous Imbibition Measurements. *Journal of Canadian Petroleum Technology*, 38(13).
- Misfit, P.**, 2007. The Use Of Coconut Liquid Waste And Soybean Soaking Water As Culture Media Of *Bacillus Thuringiensis* Berliner Bacteria. *JIPI*, 9(1), pp. 64-70.
- Morrow, N. & Masson, G.**, 2001. Recovery of Oil by Spontaneous Imbibition. *Current Opinion in Colloid & Interface Sciences*, 6(4), pp. 321-337.
- Rahmat, R.**, 1997. Ubi kayu Budidaya dan Pasca Panen. Yogyakarta(DIY Yogyakarta): Kanisius.
- Seethapalli, A., Adibhata, B. & Mohanty, K.**, 2004. Wettability Alteration during Surfactant Flooding of Carbonate Reservoirs. SPE 89423 prepared for presentation at the SPE/DOE Fourteenth Symposium on Improved Oil Recovery, 17-21 April.
- Sugihardjo**, 2013. A Study of Spontaneous Imbibition Recovery Mechanism of Surfactant Formulated from Methyl Ester Sulfonates. *Scientific Contributions Oil & Gas*, August.38(2).
- Sugihardjo, Legowo, E. H. & Partomo**, 2000. Uji Kemampuan Mikroba Indigen Untuk MEOR Dengan Microbial Core Flooding. *Lembaran Publikasi Lemigas*, 34(1).
- Sugihardjo, Legowo, E. H., Partomo & Pratomo, S.**, 1999. Microbial Core Flooding Experiments Using Indigenous Microbes. Kuala Lumpur, SPE.
- USDA**, 2018. National Nutrient data base Coconut water. [Online] Available at: <https://ndb.nal.usda.gov/ndb/search/list?home=true>.
- Yolanda, H. & Mulyana, Y.**, 2011. Uji Coba Penggunaan Limbah Air Kelapa Tua sebagai Bahan Dasar Media Isolasi. *Majalah Kedokteran Bandung*, Volume 43, pp. 117-121.
- Yusuf, A., Kadarwati, S., Nurkamelia & Sumaryan**, 1999. Field Test of the Indigenous Microbes for Oil Recovery, Ledok Field, Central Java. SPE Asia Pacific Improved Oil Recovery Conference, 25-26 October.
- Yusuf, A., Sugihardjo & Legowo, E. H.**, 2000. Penerapan Teknologi MEOR di Sumur LDK-132 Cepu. Jakarta, IATMI.
- Zhang, J., Nguyen, P., Flaaten, A. & Pope, G.**, 2008. Mechanism of Enhanced Natural Imbibition with Novel Chemicals. Tulsa, Oklahoma, USA, SPE.