

# Jurnal Ilmiah

## ENERGI & KELISTRIKAN



SEKOLAH TINGGI TEKNIK - PLN

---

PRAKIRAAN KEBUTUHAN ENERGI LISTRIK WILAYAH JAWA - BALI TAHUN 2017 - 2036 DENGAN GABUNGAN METODE ANALITIS, EKONOMETRI, DAN KECENDERUNGAN  
Soetjipto Soewono; John Pantouw; Septianissa Azzahra

---

IMPLEMENTASI LOGIKA FUZZY UNTUK SISTEM OTOMATISASI PENGATURAN PENGISIAN BATERE PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA  
Tri Joko Pramono; Dhami Johar Damiri; Supriadi Legino

---

STUDI PENYIMPANAN ENERGI PADA BATERAI PLTS  
Retno Aita Diantari; Erlina; Christine Widayastuti

---

POTENSI PEMANFAATAN BIOMASSA SEKAM PADI UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK MELALUI TEKNOLOGI GASIFIKASI  
Isworo Pujotomo

---

KONTROL PENERANGAN TENAGA SURYA SEBAGAI IMPLEMENTASI DARI LISTRIK KERAKYATAN  
Muchamad Nur Qosim; Isworo Pujotomo; Heri Suyanto

---

ANALISIS PENGGUNAAN LISTRIK ARUS SEARAH UNTUK MENINGKATKAN LAJU PRODUKSI MINYAK BUMI JENIS MINYAK BERAT  
M. Hafidz; Martin Choirul Fatah; Sandy Suryakusuma

---

STUDI KELAYAKAN PEMBANGUNAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP 2X50 MW DENGAN MENGGUNAKAN BOILER CIRCULATING FLUIDIZED BED COMBUSTION DI KENDARI, SULSELBAR  
Harun Al Rasyid; Haqimul Batih; Raden Edi Sewandono

---

STUDI METODE PENGGANTIAN RELAI MEKANIS MENJADI ELEKTRIS PANEL TEGANGAN MENENGAH PLTU UNIT 4 MUARA KARANG  
Zainal Arifin; Santoso Januwarsono; Ryan Farieztya

---

KAJIAN PEMASANGAN LIGHTNING ARRESTER PADA SISI HV TRANSFORMATOR DAYA UNIT SATU GARDU INDUK TELUK BETUNG  
Ibnu Hajar; Eko Rahman

---

# **ANALISIS PENGGUNAAN LISTRIK ARUS SEARAH UNTUK MENINGKATKAN LAJU PRODUKSI MINYAK BUMI JENIS MINYAK BERAT**

**<sup>1</sup>M. Hafidz, <sup>2</sup>Martin Choirul Fatah, <sup>3</sup>Sandy Suryakusuma**

Teknik Elektro, STT PLN

m.hafidz@sttpln.ac.id<sup>1</sup>,

martin@sttpln.ac.id<sup>2</sup>

reade\_14@yahoo.com<sup>3</sup>

**Abstract :** A technology application of direct current stimulation to reservoir through configuration of producing well subsurface casing was developed in Lapangan X; known as ESOR, Electric Stimulation Oil Recovery. ESOR is derived from EOR, Electro Enhanced Oil Recovery, and a developing technology application which has been established earlier. The difference is ESOR relatively does not improve recovery factor of producing well. Ideally any crude oil producing well will be experiencing pressure decline which may affect crude oil production decrement, naturally. Regarding some similar researches around the world, the use of direct current electrical exposure was proven to increase number of heavy crude oil production. At least salinity, hydrocarbon chemical compounds and crude oil flow in the reservoir (electro-osmosis) involves during chemical processes in the reservoir while ESOR application. Number of electrons conducted from direct current electrical power supply will be a supporting media during chemical process of these parameters. Unfortunately after completing ESOR application in Lapangan X, the result was contradictive with this research hypothesis. Exposure of direct current electrical supply did not increased heavy crude oil production. On a contrary, parameter of salinity and API gravity as produced heavy crude oil quality, were improving significantly.

**Keywords:** production, quality, electro-osmosis

**Abstrak :** Sebuah teknologi produksi dikembangkan di Lapangan X berkarakteristik minyak bumi jenis minyak berat, berupa stimulasi besaran listrik arus searah (DC) ke dalam reservoir melalui hantaran konfigurasi pipa produksi sumur minyak, disebut ESOR, Electric Stimulation Oil Recovery. Nama ESOR disesuaikan dari sebuah teknologi yang sudah berkembang sebelumnya yaitu EOR, Electro Enhanced Oil Recovery. Bedanya ESOR relatif tidak memperbaiki faktor pemulihan produksi minyak bumi (recovery factor). Idealnya setiap produksi minyak bumi akan mengalami penurunan tekanan bawah sumur secara alamiah yang berdampak pada penurunan produksi. Merujuk pada beberapa penelitian serupa di beberapa negara, penggunaan listrik arus searah terbukti menaikkan produksi minyak bumi jenis minyak berat. Secara umum proses kimia yang terjadi dalam reservoir melibatkan tiga parameter yang menjadi bagian dari karakteristik minyak bumi jenis minyak berat, yaitu kadar garam, rantai kimia hidrokarbon dan laju alir minyak dalam reservoir (electro-osmosis). Jumlah elektron yang dialirkan dari arus listrik searah akan menjadi media pendukung untuk proses kimiawi ketiga parameter ini. Setelah menerapkan teknologi ESOR, sayangnya penelitian ini tidak menghasilkan bukti bahwa penggunaan listrik arus searah bisa menaikkan produksi minyak bumi jenis minyak berat. Sebaliknya kualitas minyak berat yang diproduksikan menunjukkan perbaikan nilai kadar garam dan API gravity.

**Kata kunci:** produksi, kualitas, electro-osmosis

## **1. PENDAHULUAN**

Produksi minyak bumi jenis minyak berat sangatlah terbatas karena sulitnya

mensarikan cairan berkekentalan tinggi ini dari sejumlah reservoir minyak. API gravity dijelaskan pada rumus berikut:

$$\text{API gravity} = \frac{141.5}{\text{SG}} - 131.5$$

$$\text{SG oil} = \frac{\rho_{\text{crudeoil}}}{\rho_{\text{H}_2\text{O}}}$$

dimana

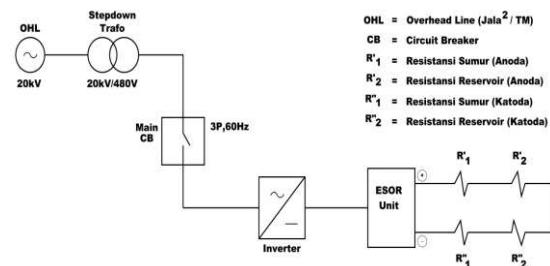
Tabel 1 menjelaskan tingkat kualitas minyak bumi berdasarkan *API gravity*-nya. Minyak bumi di Indonesia sebagian besar masuk kategori minyak bumi jenis minyak sangat ringan (*ultra light*).

**Tabel 1.** Kualifikasi jenis minyak bumi berdasarkan *API gravity*  
Sumber: Eni, 2012

Jenis Minyak Bumi	API Gravity [derajat]
Ultra Light	>50
Light	35 - 50
Medium	26 - 35
Heavy	10 - 26

Sebuah teknologi produksi dikembangkan di Lapangan X berkarakteristik minyak bumi jenis minyak berat, berupa stimulasi besaran listrik arus searah ke dalam *reservoir* melalui hantaran konfigurasi pipa produksi sumur minyak, disebut *ESOR*, *Electric Stimulation Oil Recovery*.

Dua sumur minyak digunakan sebagai elektroda, dimana sumur minyak berproduksi difungsikan sebagai katoda dan sumur minyak tidak berproduksi difungsikan sebagai anoda Ilustrasi terlihat pada Gambar di bawah ini.



**Gambar 1.** Diagram Ilustrasi *ESOR*, *Electrical Stimulation Oil Recovery*

Sumber: Presentasi teknis Petroleum Engineering, Medco E&P Indonesia, 2014

Nama *ESOR* disesuaikan dari sebuah teknologi yang sudah berkembang sebelumnya yaitu *EEOR*, *electric enhanced oil recovery*. Bedanya *ESOR* relatif tidak memperbaiki faktor pemulihan produksi minyak bumi (*recovery factor*). Penerapan *ESOR* cenderung memantau besaran arus searah (bersatuhan Ampere DC) yang dihantarkan ke dalam *reservoir* melalui pipa produksi, dimana *reservoir* dan pipa produksi tersebut memiliki nilai resistansi. Berdasarkan Hukum Ohm, kedua parameter tersebut dikendalikan oleh besarnya masukan tegangan listrik arus searah (bersatuhan Volt DC).

Jika diasumsikan besarnya resistansi rangkaian peralatan sumur minyak dan *reservoir* tetap, maka besarnya masukan tegangan listrik arus searah yang efektif menjadi penting untuk diketahui agar stabilitas alliran arus listrik searah terjaga.

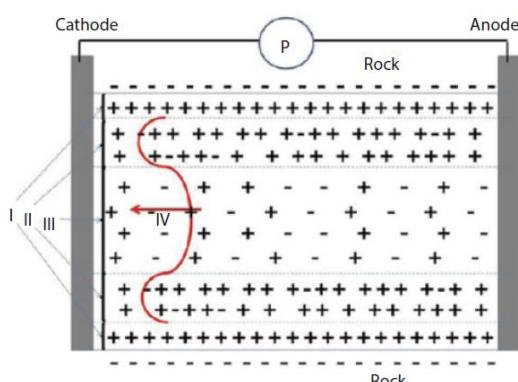
## 2. LANDASAN TEORI

Memperkuat penerapan teknologi *ESOR* ini, Tabel berikut menggambarkan risalah dari seluruh tinjauan pustaka yang dijadikan referensi.

**Tabel 2.** Risalah Tinjauan Pustaka

Daftar Pustaka	Judul Referensi	Kesesuaian dengan Tesis	Keterangan
2	Electrokinetics Technology to Improve Acidizing of Carbonate Reservoir Rocks	Keberhasilan menaikkan laju alir minyak bumi yang diproduksikan mencapai 15% dengan menerapkan listrik arus searah.	Penerapan listrik arus searah pada operasi <i>acidizing</i> dalam <i>reservoir</i> batuan gamping ( <i>limestone</i> ).
3	The use of direct current treatment of paraffin plugging in oil wells: A case study	Penerapan listrik arus searah tidak meningkatkan produksi minyak bumi secara signifikan. Sebaliknya pemanasan dengan listrik arus searah pada pipa produksi ( <i>tubing</i> ) yang tersumbat parafin meningkatkan produksinya ke permukaan bumi.	Percobaan lapangan dilakukan pada sumur minyak bumi yang tersumbat parafin.
4	Electromagnetic Heating of Heavy Oil and Bitumen: A Review of Experimental Studies and Field Applications	Paparan energi elektromagnet ke dalam <i>reservoir</i> di Kanada meningkatkan produksi minyak berat hingga 40% (dari 12 ke $20 \text{ m}^3/\text{day}$ ), mengurangi <i>watercut</i> 8% (dari 20% ke 12%).	Paparan energi elektromagnet menggunakan listrik arus bolak-balik.
6	Direct Electric Current Oil Recovery (EEOR): A New Approach to Enhancing Oil Production	Demonstrasi lapangan di California, AS, berhasil meningkatkan produksi minyak berat 10 kali lipat (dari 5 ke 50 bopd), meningkatkan kualitas minyak bumi: kenaikan <i>API gravity</i> 32% (dari 8,1 ke $10.7^\circ\text{API}$ ) dan mengurangi <i>watercut</i> 33% (dari 45% ke 12%).	Jenis <i>reservoir</i> di California ini adalah batuan pasir ( <i>sandstone</i> ).
8	Direct Electric Current Oil Recovery (EEOR)—A New Approach to Enhancing Oil Production	Demonstrasi lapangan di Alberta, Kanada, berhasil meningkatkan produksi minyak berat lebih dari 3 kali lipat (dari $0,21 \text{ m}^3/\text{day}$ ke $0,91 \text{ m}^3/\text{day}$ ) dan mengurangi <i>basic solids and water (BS&amp;W)cut</i> 66% (dari 73% ke 7%).	Jenis <i>reservoir</i> di Alberta ini adalah batuan pasir ( <i>sandstone</i> ) yang berada di kedalaman 517 meter dari permukaan bumi.
10	A New Technique for Recovering Heavy Oil and Tar Sands	Membandingkan paparan energi elektromagnet dengan paparan energi uap air ( <i>steamflood</i> ) di Alaska, AS, menyatakan paparan energi elektromagnetik memperbaiki produksi ( <i>recovery</i> ) minyak bumi hingga 40%.	Minyak bumi yang diproduksikan adalah minyak berat yang mengandung <i>tar</i> dari <i>reservoir</i> batuan pasir ( <i>sandstone</i> ). Penelitian ini dilakukan hingga 10

Sejak 1879, Helmholtz telah menerangkan pergerakan dari campuran senyawa ionik yang diberi paparan listrik dari anoda ke katoda dan menjelaskan terjadinya lapisan-bermuatan ganda. Menerangkan teori *elektrokinetics*, senyawa hidrokarbon bisa distimulasi dengan pengaruh paparan eksternal medan listrik. Secara alamiah, mekanisme tersebut bisa menghasilkan kenaikan produksi minyak bumi. Sederhananya teori *elektrokinetics* adalah memberdayakan paparan energi listrik arus searah yang menghasilkan jumlah elektron dengan jumlah tertentu untuk mempengaruhi ikatan senyawa kimia sebuah material (contohnya hidrokarbon) yang secara terus-menerus menciptakan fenomena migrasi elektron. Teori *electrokinetics* digambarkan pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Diagram Skematik *electrokinetics* dengan lapisan-bermuatan ganda

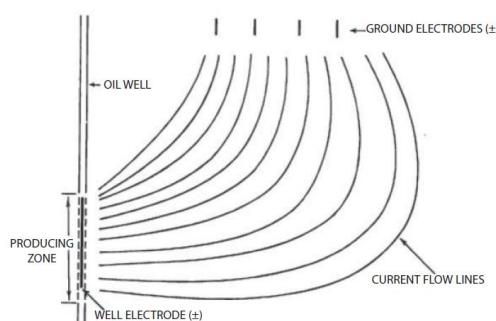
- I : Lapisan-bermuatan ganda yang stabil (*Immobile Double Layer*),
- II : Lapisan-bermuatan ganda yang bergerak (*Mobile Double Layer*),
- III : Kandungan air (*Free Water*), IV: profil kecepatan (*Velocity Profile*) seperti diperlihatkan oleh Dr. George V. Chilingar.

Garis kurva adalah profil kecepatan dalam sebuah bentuk kapiler.

P adalah catu daya arus listrik searah. Batuan diberi paparan listrik negatif (ionik).

*Sumber: (2) Electrokinetics Technology\_Scientific Research\_2013*

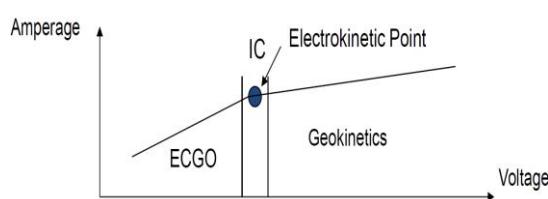
Sesuai Gambar 1, EOR melibatkan aliran arus listrik arus searah antara katoda pada *reservoir* produksi dengan anoda, baik di permukaan dan di kedalaman lapisan produksi. Gambar 3 menunjukkan instalasi EOR di lapangan yang diusulkan pertama kali pada tahun 1965.



**Gambar 3.** Instalasi lapangan EOR yang diusulkan oleh Anbah dkk (1965)

*Sumber: (1) Electrokinetics\_Wiley\_Scrivener\_2014*

Sejumlah elektron yang ditransfer dari catu daya listrik arus searah menciptakan migrasi muatan yang akan membantu terbentuknya gas hidrogen ( $H_2$ ) dalam *reservoir* sehingga senyawa hidrokarbon terpecah menjadi fluida yang lebih mudah dialirkan. Secara ideal, efek dari migrasi elektron ini juga menurunkan kandungan kadar garam (salinitas) secara signifikan. Ilustrasi operasi *electrokinetics* bisa dilihat pada Gambar di bawah ini.



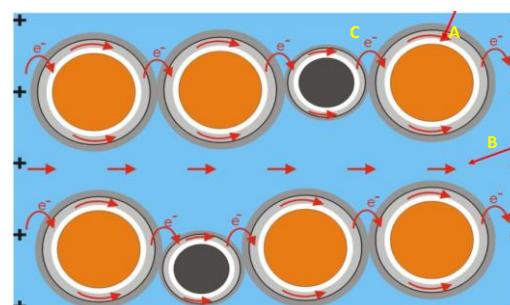
**Gambar 4.** Skema operasi *electrokinetics* dengan listrik arus searah ECGO, electro-chemical geo-oxydation (Induced Polarization) untuk proses ionisasi

IC (Induced Current), arus listrik (DC) yang diinduksikan

Geokinetics, pergerakan mekanis batuan formasi di bawah permukaan

*Sumber: Oilrec Technologies by B.S. Geoteknik, 2014*

Fungsi *elektrokinetics* dalam konsep ini lebih menjadi penggerak partikel batuan dan kandungan air dalam formasi *reservoir*. Gambar di bawah ini menerangkan aliran arus listrik dalam *reservoir* yang melibatkan fungsi konduktif antara partikel dan energi listrik yang dipaparkan.

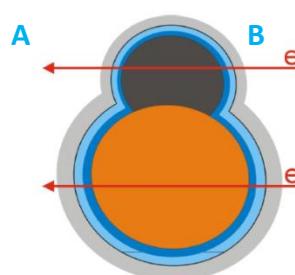


**Gambar 5.** Aliran arus listrik (DC) dalam tanah.

A, konduktifitas koloid (dalam partikel tanah);  
B, konduktivitas ionik (di luar partikel tanah);  
C, migrasi elektron

*Sumber: Oilrec Technologies by B.S. Geoteknik, 2014*

Proses organik berupa reaksi redoks membutuhkan reaksi pendamping seperti proses reduksi (penerimaan elektron) pada atom Hidrogen ( $H^+$ ) dan proses oksidasi (pelepasan elektron) pada atom-atom, seperti terlihat pada Gambar 6.



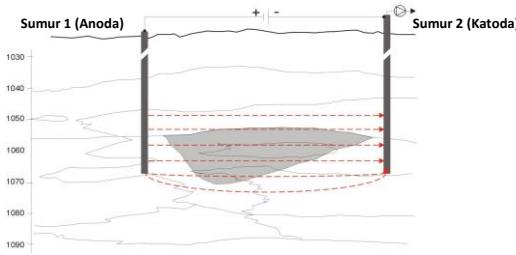
**Gambar 6.** Alur Faradaic pada partikel konduktif;

Fenomena *Induced Polarization* (IP);  
A: Oksidasi, pelepasan elektron; B: Reduksi, penerimaan elektron

*Sumber: Oilrec Technologies by B.S. Geoteknik, 2014*

### 3. METODE PENELITIAN

Ada 2 (dua) sumur minyak bumi yang dilibatkan dalam penerapan teknologi ini. Hal yang menjadikan penerapan ESOR di Lapangan X berbeda dengan penelitian yang pernah ada sebelumnya karena menggunakan dua sumur produksi minyak sebagai anoda dan katoda. Ilustrasi bisa dilihat pada Gambar di bawah ini.



**Gambar 7.** Skema aplikasi ESOR di lapangan migas X

Sumber: Sumber: Oilrec Technologies by B.S. Geoteknik, 2014

Metode penelitian yang dipilih oleh penulis adalah kombinasi studi literatur dan pengambilan data dengan pengukuran langsung di lapangan. Kajian data juga dikombinasikan antara pendekatan kualitatif dan kuantitatif. Pengoperasian peralatan pendukung termasuk pengukuran untuk pengumpulan data sepenuhnya dilakukan oleh pihak ketiga penyedia jasa. Supervisi dan pemantauan operasional dibantu oleh perwakilan personil di lapangan.

### 4. ANALISIS HASIL PENGUKURAN

Merujuk hasil pengukuran pada Tabel 3 diketahui bahwa nilai arus listrik yang dipaparkan cenderung stabil dari nilai parameter tegangan listrik arus searah yang berasal dari panel konversi (unit ESOR) milik pihak ketiga. Tidak teridentifikasi kecenderungan perubahan arus listrik yang diukur saat besaran tegangan diubah. Jadi diasumsikan resistansi *reservoir* ( $R_2$ ) dan resistansi sumur produksi minyak ( $R_1$ ) seperti dijelaskan pada Gambar 1, juga tidak mengalami perubahan yang signifikan.

Memperhatikan hasil pengukuran kedua parameter ini, diketahui bahwa

parameter salinitas mengalami penurunan yang signifikan. Sementara parameter *API gravity* mengalami kenaikan yang juga signifikan dari pengukuran awal. Menterjemahkan data yang terkumpul pada kedua parameter, salinitas dan *API gravity*, bahwa proses redoks (reduksi-oksidasi) dari migrasi elektron membantu terciptanya gas hidrogen ( $H_2$ ) dalam ikatan senyawa kimia hidrokarbon untuk menyederhanakan ikatan minyak bumi jenis minyak berat menjadi lebih ringan. Menilai sederhana hasil tersebut, diketahui bahwa kualitas minyak bumi yang diproduksikan mengalami peningkatan.

**Tabel 3** Hasil Pengukuran ESOR di Sumur 1 dan 2

Tanggal	Tegangan Listrik [Volt DC] Sumur Anoda	Arus Listrik [Ampere DC] Sumur Anoda	Salinitas* [ppm] Sumur Katoda	<i>API gravity</i> * [derajat] Sumur Katoda	Produksi Minyak Bumi [Barel] Tanpa ESOR*	Produksi Minyak Bumi [Barel] Applikasi ESOR	Selisih Produksi [Barel]
01-Sep-15	18	54,05	28.680	32,5	65	55,4	(9,6)
02-Sep-15	18	54,05		65	39,8	(25,2)	
03-Sep-15	18	54,05		65	58,5	(6,5)	
04-Sep-15	18	54,05		65	46,6	(14,4)	
05-Sep-15	18	53,92		65	35,2	(29,8)	
06-Sep-15	18	54,01		65	36,4	(28,6)	
07-Sep-15	18	53,97		65	41,9	(23,1)	
08-Sep-15	18	54,05	28.668	33,1	65	52,4	(12,6)
09-Sep-15	18	54,11		65	53,2	(11,8)	
10-Sep-15	18	54,03		65	40,6	(24,4)	
11-Sep-15	18	53,91		65	41,3	(23,7)	
12-Sep-15	18	53,99		65	60,4	(4,6)	
13-Sep-15	18	53,95		65	61,2	(3,8)	
14-Sep-15	18	54,05		65	43,9	(21,1)	
15-Sep-15	20	60,06	24.018	34,3	65	42,3	(22,7)
16-Sep-15	20	60,01		65	53,1	(11,9)	
17-Sep-15	20	60,02		65	53,8	(11,2)	
18-Sep-15	20	59,92		65	56,1	(8,9)	
19-Sep-15	20	59,89		65	60,0	(5,0)	
20-Sep-15	20	60,05		65	60,1	(4,9)	
21-Sep-15	20	60,06		65	34,9	(39,1)	
22-Sep-15	20	60,05	23.560	35,6	65	33,3	(16,7)
23-Sep-15	20	59,97		65	40,2	(24,8)	
24-Sep-15	20	59,93		65	43,8	(21,2)	
25-Sep-15	20	59,89		65	39,7	(25,3)	
26-Sep-15	20	59,96		65	44,8	(20,2)	
27-Sep-15	20	60,01		65	47,0	(18,0)	
28-Sep-15	20	60,02		65	49,4	(15,6)	
29-Sep-15	20	60,03	21.897	36,8	65	51,0	(14,0)
30-Sep-15	20	60,06		65	53,4	(11,6)	
01-Okt-15	20	59,98		63	54,7	(8,3)	
02-Okt-15	20	59,99		63	55,9	(7,1)	
03-Okt-15	20	60,03		63	58,8	(4,2)	
04-Okt-15	20	60,06		63	42,8	(20,2)	
05-Okt-15	20	59,95		63	43,5	(19,5)	
06-Okt-15	22	66,09	20.661	37,5	63	51,9	(11,1)
07-Okt-15	22	66,07		63	52,1	(10,9)	
08-Okt-15	22	66,06		63	52,3	(10,7)	
09-Okt-15	22	66,07		63	52,2	(10,8)	
10-Okt-15	22	66,09		63	52,8	(10,2)	
11-Okt-15	22	65,92		63	52,7	(10,3)	
12-Okt-15	22	65,93		63	52,9	(10,1)	
13-Okt-15	22	65,97	19.518	37,7	63	52,5	(10,5)
14-Okt-15	22	66,01		63	52,6	(10,4)	
15-Okt-15	22	66,04		63	52,4	(10,8)	
16-Okt-15	22	66,06		63	52,8	(10,2)	
17-Okt-15	22	66,06		63	51,9	(11,1)	
18-Okt-15	22	66,06		63	52,4	(10,6)	
19-Okt-15	22	66,07		63	50,9	(12,1)	
20-Okt-15	22	66,02		63	51,1	(11,9)	
21-Okt-15	22	65,93	18.898	37,9	63	51,4	(11,6)
22-Okt-15	22	65,98		63	51,9	(11,1)	
23-Okt-15	22	66,05		63	52,6	(10,4)	
24-Okt-15	22	65,98		63	52,6	(10,4)	
25-Okt-15	22	66,06		63	52,9	(10,1)	
26-Okt-15	22	66,03		63	52,0	(11,0)	
27-Okt-15	24	72,07	16.892	38,7	63	55,4	(10,5)
28-Okt-15	24	72,01		63	35,5	(27,5)	
29-Okt-15	24	72,06		63	39,8	(23,2)	
30-Okt-15	24	72,06		63	58,5	(4,5)	
31-Okt-15	24	72,05		63	46,6	(16,4)	
01-Nov-15	24	72,02		60	35,2	(24,8)	
02-Nov-15	24	72,01		60	36,4	(23,6)	
03-Nov-15	24	72,02	16.079	38,8	60	41,9	(18,1)
04-Nov-15	24	72,01		60	52,4	(7,6)	
05-Nov-15	24	72,06		60	53,2	(6,8)	
06-Nov-15	24	72,05		60	40,6	(19,4)	
07-Nov-15	24	72,07		60	35,4	(24,6)	
08-Nov-15	24	72,07		60	41,3	(18,7)	
09-Nov-15	24	72,07		60	34,7	(25,3)	
10-Nov-15	24	72,01	15.974	39,0	60	60,4	0,4
11-Nov-15	24	72,08		60	61,2	1,2	
12-Nov-15	24	72,01		60	23,9	(46,1)	
13-Nov-15	24	72,12		60	40,3	(19,7)	
14-Nov-15	24	72,14		60	43,9	(16,1)	
15-Nov-15	24	72,07		60	42,3	(17,7)	
16-Nov-15	24	72,05		60	53,0	(7,0)	
17-Nov-15	24	72,05	15.802	39,1	60	58,8	(1,2)
18-Nov-15	24	72,09		60	59,1	(0,9)	
19-Nov-15	24	72,02		60	52,6	(7,4)	
20-Nov-15	24	72,07		60	55,5	(4,5)	
21-Nov-15	24	72,07		60	54,9	(5,1)	
22-Nov-15	24	72,01		60	58,3	(1,7)	
23-Nov-15	24	72,06		60	58,9	(1,1)	
24-Nov-15	24	72,08	15.767	39,3	60	58,8	(1,2)
25-Nov-15	24	72,08		60	60,1	0,1	
26-Nov-15	24	71,99		60	60,1	0,1	
27-Nov-15	24	72,03		60	60,8	0,8	
28-Nov-15	24	72,07		60	39,2	(20,8)	
29-Nov-15	24	72,07		60	28,9	(31,1)	
30-Nov-15	24	72,05		60	30,2	(25,8)	

## 5. KESIMPULAN

Berbeda dengan hipotesis, penerapan teknologi ini menyimpulkan bahwa menaikkan tegangan catu daya listrik arus searah ke sisi anoda (Sumur 1) cenderung tidak menambah jumlah produksi minyak bumi pada Sumur 2 (katoda). Sebaliknya pengamatan selama tiga bulan sesuai rencana penelitian memperlihatkan kenaikan kualitas minyak bumi yang diproduksikan pada parameter kandungan kadar garam (salinitas) dan *API gravity*.

## REFERENSI

1. George V. Chilingar and Mohammed Haroun. (2014). *Electrokinetics: For Petroleum and Environmental Engineers*. Massachusetts: Scrivener.
2. Sanghee Shin, George V. Chilingar, Mohammed Haroun, J. Kenneth Wittle, Najmedin Meshkati, Sibel Pamukcu, Jaehyeung Jeoung, Hobon Koo. (2013). *Electrokinetics Technology to Improve Acidizing of Carbonate Reservoir Rocks*. California: Scientific Research, Journal of Environmental Protection.
3. J.Kenneth Wittle. (2013). *The Use of Direct Current Treatment of Paraffin Plugging in Oil Wells: A Case Study*. Texas: World Congress on Petrochemistry and Chemical Engineering.
4. Albina Mukhametshina, Elena Martynova. (2013). *Electromagnetic Heating of Heavy Oil and Bitumen: A Review of Experimental Studies and Field Applications*. Moscow: Journal of Petroleum Engineering.
5. Muhammad Mohsin Rehman, Mahmoud Meribout. (2012). *Conventional Versus Electrical Enhanced Oil Recovery*. Abu Dhabi: Journal Petroleum Exploration & Production Technology.
6. J.Kenneth Wittle, D.G.Hill, George V. Chilingar. (2011). *Direct Electric Current Oil Recovery (EEOR)—A New Approach to Enhancing Oil Production*. London: Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects.
7. Vincent Benischek, Michael Currie, Rajneeta Basantkumar, Gennady Lyasko. (2009). *Electromagnetic Based System And Method For Enhancing Subsurface Recovery Of Fluid Within A Permeable Formation*. New York: US Patent: US 8,485,251 B2.
8. J.Kenneth Wittle, D.G.Hill, George V. Chilingar. (2008). *Direct Current Electrical Enhanced Oil Recovery in Heavy-Oil Reservoir to Improve Recovery, Reduce Water Cut and Reduce H<sub>2</sub>S Production while Increasing API Gravity*. California: Society of Petroleum Engineers.
9. G. D. Mahan. (2000). *Many-particle Physics, Chapter 8: DC Conductivities*. New York: www.springer.com.
10. M.R. Islam, George V. Chilingar. (1995). *A New Technique for Recovering Heavy Oil and tar Sands*. Tehran: Scientia Iranica.