



Seminar Nasional Kebumihan

VIII-2013

Yogyakarta, 5 September 2013



No ISBN : 978-602-19765-2-4

PROSIDING

B. 6

**Menuju Pengelolaan Energi dan Sumberdaya Mineral
Indonesia Yang Lebih Berdaulat :
Tantangan, Teknologi, Sistem, dan Solusi**

**FAKULTAS TEKNOLOGI MINERAL
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL "VETERAN
YOGYAKARTA**

Seminar Nasional Kehutanan VIII - 2013

**Acara Pengabdian Masyarakat dan Sumbahnya Mineral Indonesia Yang Lebih Beradab:
Tantangan, Teknologi, Sistem dan Sosial**

**Fakultas Teknologi Mineral
Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta
Jl. SWK 104 (Lingkak Utara) Condong-satu Yogyakarta
Gedung Arie F. Lasut, Telp. (0274) 487813, 487814, Fax. (0274) 487813
Email : semnas_fm@upnyk.ac.id**

Sanksi Pelanggaran Pasal 72 Undang-Undang Nomor 19 Tahun 2002 Tentang Hak Cipta

1. Barang siapa dengan sengaja melanggar dan tanpa hak melakukan perbuatan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 2 Ayat (1) atau Pasal 9 Ayat (1) dan Ayat (2) dipidana dengan pidana penjara masing-masing paling singkat 1 (satu) bulan dan/atau denda paling sedikit Rp 1.000.000,00 (satu juta rupiah), atau pidana penjara paling lama 7 (tujuh) tahun dan/atau denda paling banyak Rp 5.000.000.000,00 (lima milyar rupiah).
2. Barang siapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu ciptaan atau barang hasil pelanggaran hak cipta atau hak terkait sebagai dimaksud pada Ayat (1) dipidana dengan pidana penjara paling lama 5 (lima) tahun dan/atau denda paling banyak Rp 500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).

Seminar Nasional Kebumihan VIII - 2013

Menuju Pengolahan Energi dan Sumberdaya Mineral Indonesia Yang Lebih Berdaulat:
Tantangan, Teknologi, Sistem dan Solusi

Fakultas Teknologi Mineral
Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta
Jl. SWK 104 (Lingkar Utara) Condongcatur Yogyakarta
Gedung Arie F. Lasut, Telp. (0274) 487813, 487814, Fax. (0274) 487813
Email : semnas_ftm@upnyk.ac.id

Sanksi Pelanggaran Pasal 72 Undang-Undang Nomor 19 Tahun 2002 Tentang Hak Cipta

1. Barang siapa dengan sengaja melanggar dan tanpa hak melakukan perbuatan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 2 Ayat (1) atau Pasal 9 Ayat (1) dan Ayat (2) dipidana dengan pidana penjara masing-masing paling singkat 1 (satu) bulan dan/atau denda paling sedikit Rp 1.000.000,00 (satu juta rupiah), atau pidana penjara paling lama 7 (tujuh) tahun dan/atau denda paling banyak Rp 5.000.000.000,00 (lima milyar rupiah).
2. Barang siapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu ciptaan atau barang hasil pelanggaran hak cipta atau hak terkait sebagai dimaksud pada Ayat (1) dipidana dengan pidana penjara paling lama 5 (lima) tahun dan/atau denda paling banyak Rp 500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).

Kata Pengantar

Kebutuhan mineral dan energi akan sebanding jumlah populasi manusia. Sehingga seringkali terjadi keterbatasan persediaan untuk pemenuhan kebutuhannya. Konsekuensinya adalah meningkatnya kegiatan eksplorasi dan eksploitasi serta usaha-usaha pencegahan terhadap dampak kegiatan tersebut. Permasalahan yang sering muncul dari kegiatan ini adalah penurunan kualitas lingkungan, seperti pencemaran tanah, udara, dan hidrologi air.

UPN “Veteran” Yogyakarta sebagai institusi pendidikan tinggi yang sudah banyak menghasilkan pakar dalam bidang sewajarnya dengan komitmen dasar Disiplin, Kejuangan, dan Kreatifitas tetap mengendalikan dan menjaga eksistensi, keseimbangan bumi dan pengelolaannya dengan landasan sesanti Widya Mwat Yasa.

Upaya peran serta institusi untuk menjaga komitmen diatas adalah menyelenggarakan seminar tahunan Fakultas Teknologi Mineral untuk mewadahi karya-karya dosen agar dapat dipublikasikan secara nasional. Seminar akan merupakan serangkaian diskusi dari para pakar bidang kebumian pada SEMINAR NASIONAL KEBUMIAN VIII. Tema tahun ini adalah “Menuju Pengelolaan Energi dan Sumberdaya Mineral Indonesia Yang Lebih Berdaulat : Tantangan, Teknologi, Sistem, dan Solusi (Toward More Sovereign Management of The Indonesia’s Energy & Mineral Resources : Challenge, Technology, System & Solution) ”.

Ketua Panitia



(M. Th. Kristiati. EA, ST, MT)

**Sambutan
Dekan Fakultas Teknologi Mineral**

**SEMINAR NASIONAL KEBUMIHAN VIII - 2013
Yogyakarta, 5 September 2013**

Pembaca yang budiman,

Seminar Nasional Kebumihan ke VIII tahun 2013 ini diselenggarakan oleh Fakultas Teknologi Mineral dengan tema “Menuju Pengelolaan Energi dan Sumberdaya Mineral Indonesia Yang Lebih Berdaulat : Tantangan, Teknologi, Sistem, dan Solusi (Toward More Sovereign Management of The Indonesia’s Energy & Mineral Resources : Challenge, Technology, System & Solution)” dan dilaksanakan pada tanggal 5 September 2013, selain sebagai acara tahunan seminar ini diselenggarakan sekaligus juga dalam rangka Dies Natalis ke 55 UPN “Veteran” Yogyakarta. Pemilihan tema berkaitan dengan upaya peran serta UPN “Veteran” Yogyakarta untuk menjaga komitmen sebagai institusi pendidikan tinggi yang sudah banyak menghasilkan pakar dalam bidang sewajarnya dengan komitmen dasar Disiplin, Kejuangan, dan Kreatifitas tetap mengendalikan dan menjaga eksistensi, keseimbangan bumi dan pengelolaannya dengan landasan sesanti Widya Mwat Yasa.

Pada kesempatan ini kami ingin mengucapkan terimakasih kepada :

1. Rektor UPN “Veteran” Yogyakarta, Prof. Dr. Didit Welly Udjiyanto, MS
2. Pembicara Kunci I, Dirjen Migas, Ir. A. Edy Hermantoro M.Si
3. Pembicara Kunci II, Dr. Ir. Ridho K Watimena, Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan ITB
4. Para pemakalah dari berbagai universitas dan instansi
5. Para peserta seminar dari Instansi, Lembaga dan Perguruan Tinggi

Selain itu kami juga berterimakasih dan menyampaikan penghargaan yang tinggi kepada para sponsor, seluruh panitia, semua pendukung acara dan segenap panitia mahasiswa yang telah bekerja keras demi suksesnya acara ini.

Yogyakarta, 5 September 2013

(Dr. Ir. S. Koesnaryo, MSc, IPM).



**Rektor
Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta**

**Sambutan
SEMINAR NASIONAL KEBUMIHAN VIII - 2013
Yogyakarta, 5 September 2013**

Assalamualaikum warahmatullahi wabarakatuh

Sumberdaya bumi dan alam, termasuk didalamnya sumberdaya mineral dan energi yang kita miliki adalah karunia luar biasa dari Allah, yang disediakan bagi kita penghuni bumi untuk dapat dimanfaatkan dan dikelola sebaik-baiknya. Dalam kelangsungan hidupnya, manusia akan selalu memenuhi kebutuhan hidupnya dan meningkatkan kesejahteraan dengan melakukan pembangunan, dengan memanfaatkan sumberdaya alam yang ada di bumi ini. Upaya-upaya pemenuhan kebutuhan dan pembangunan yang dilaksanakan acap kali mengabaikan cara-cara pemanfaatan dan tatakelola yang berkelanjutan. Sehingga akan berdampak pada eksploitasi sumberdaya alam dan bumi berlebihan yang akan berakibat pada kerusakan atau turunnya kualitas lingkungan seperti pencemaran tanah, udara, air dan bencana, serta akan mengorbankan hak pemenuhan kebutuhan generasi yang akan datang. Untuk itu diperlukan upaya pengelolaan lingkungan eksplorasi dan eksploitasi sumberdaya alam yang lebih baik (*good mining practice*).

Selain masalah diatas, dalam pengelolaan sumberdaya bumi dan alam untuk pembangunan, kita rakyat Indonesia sebagai pemilik bumi Indonesia ini, masih belum sepenuhnya berdaulat mengelola dan memanfaatkan sumberdaya bumi dan alam. Terbukti bahwa sebagian besar daerah yang kaya akan tambang minyak dan gas, tambang batubara, tambang emas dan lain-lain, rakyat disekitarnya tetap miskin, pendidikan rendah, tempat tinggal tidak layak, dll. Artinya kekayaan yang melimpah ini tidak dapat memenuhi kebutuhan hidup dan peningkatan kesejahteraan masyarakat, masyarakat hanya akan diberikan sisa hasil yang berupa kerusakan lingkungan, dan bencana serta CSR seadanya, jadi tidak benar-benar ingin meningkatkan kesejahteraan dan pendidikan. Pengelolaan energi dan sumberdaya yang belum

sepenuhnya berdaulat, menyebabkan Indonesia sebagai negara di dunia yang memiliki energi dan sumberdaya mineral cukup besar, pengelolaan energi dan kebijakan pengelolaan energi dan mineral selama ini masih dicampuri dan didominasi oleh pihak asing, serta pihak-pihak yang hanya mementingkan diri sendiri. Selama ini, penyelesaian persoalan terkait pengelolaan energi dan sumberdaya mineral dilakukan secara parsial dan berorientasi jangka pendek.

Inti permasalahan terkait dengan pengelolaan energi dan sumberdaya mineral di Indonesia tidak lain disebabkan oleh tergerusnya kedaulatan energi di Negeri ini. Kedaulatan energi seharusnya menjadi hak seluruh rakyat karena di Indonesia memiliki UUD 1945 Pasal 33 ayat (3), yang berbunyi: bumi, air, dan segala kekayaan yang terkandung didalamnya dikuasai oleh negara dan dipergunakan bagi sebesar-besarnya kemakmuran rakyat.

UPN "Veteran" Yogyakarta sebagai institusi pendidikan tinggi yang sudah banyak menghasilkan pakar dan lulusan bidang kebumian (pertambangan, perminyakan, geologi dan geofisika, serta pengelolaan lingkungan), sudah sewajarnya dengan komitmen dasar Disiplin, Kejuangan, dan Kreatifitas tetap mengendalikan dan menjaga eksistensi keseimbangan bumi dan pengelolaannya dengan landasan sesanti Widya Mwat Yasa (ilmu pengetahuan untuk diabdikan secara tulus kepada bangsa dan Negara). Kami berharap, pada perkembangan ilmu dan teknologi akan memberikan peran dan sumbang sih kepada Negara baik dalam teknologi eksplorasi, eksploitasi dan pengelolaan serta kebijakan pengelolaan dan pemanfaatannya, karena sektor energy adalah sumber pendapat Negara terbesar kedua sesudah pajak. Peran besar ini harus kita hayati dan dukung bersama pelaksanaannya, agar tercapailah peningkatan kesejahteraan masyarakat serta pengelolaan energy yang lebih berdaulat.

Seminar Nasional Kebumian VIII dengan tema "**Menuju Pengelolaan Energi dan Sumberdaya Mineral Indonesia Yang Lebih Berdaulat : Tantangan, Teknologi, Sistem, dan Solusi (Toward More Sovereign Management of The Indonesia's Energy & Mineral Resources : Challenge, Technology, System & Solution)**", yang sekaligus diselenggarakan dalam rangka Dies Natalis ke 55 Tahun UPN "Veteran" Yogyakarta ini diharapkan menjadi ajang saling bertukar ilmu, bertukar pengalaman bagi para peneliti, para pemangku kepentingan dan para stakeholder tentang tantangan, teknologi, sistem, dan solusi, dalam upaya kita bersama ikut serta dalam pengelolaan energi dan sumberdaya mineral indonesia yang lebih berdaulat.

Pada kesempatan ini, kami sampaikan terimakasih sebesar-besarnya kepada Dirjen Migas dan Dr. Ir. Ridho K Watimena, Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan ITB sebagai Pembicara Kunci yang telah berkenan hadir pada seminar ini. Ucapan terima kasih juga saya sampaikan kepada para pemalakah dari berbagai instansi, lembaga, perguruan tinggi dan

seluruh peserta seminar, yang telah menyempatkan diri untuk hadir ditengah kesibukan bapak dan ibu sekalian dalam seminar ini.

Wassalamu'alikum warahmatullahi wabarakatuh

Rektor,

Ttd

Prof. Dr. Didit Welly Udjianto, MS

NIP. 19590620 198603 1 001

Daftar Isi

KATA PENGANTAR	ii
SAMBUTAN DEKAN FAKULTAS TEKNOLOGI MINERAL	iii
SAMBUTAN REKTOR UPN "VETERAN" YOGYAKARTA	iv
DAFTAR ISI	vii
SUSUNAN PANITIA.....	xi
UCAPAN TERIMA KASIH.....	xii

Tema I : Kebijakan Minerba, Migas dan Panasbumi

- Regulation On Electrical Power Theft and Costumers Behavior Bambang SUPRIHADI.....	1
- Praktek CSR pada Industri Energi dan Isu Pengembangan Wilayah di Daerah Tertinggal S. KOESNARYO.....	8
- Penerapan CSR secara Efisien dalam Perusahaan Flora AWOITAUW	16

Tema II : Problem & Solusi Kedepan Pengembangan Panasbumi dan Energi

- Problema Pengembangan Energi Terbarukan sebagai Alternatif Energi Fosil S. KOESNARYO.....	23
- Aplikasi Metode Perhitungan Green-Willhite dalam Penentuan Tekanan Injeksi Polimer Harry BUDI HARJO S.....	29 ✓
- Penyelidikan Suhu Reservoir di Lapangan Panas Bumi Suli, Maluku Tengah Helda ANDAYANY	39
- Penentuan Sumur-sumur Konversi Injeksi Air dengan Menggunakan Data Performance Produksi dalam Lapangan Minyak "X" Edgie YUDA KAESTI, HARYADI.....	49
- Kemungkinan Kesalahan di dalam Penggunaan Persamaan Material Balance dan Drive Index Untuk Reservoir Minyak Yosaphat SUMANTRI, SUNINDYO.....	55
- Simulasi Metode Jaringan dan Fasilitas Permukaan Injeksi CO ₂ dengan Injection Plant Tersebar WIBOWO, Djoko ASKEYANTO, Lutvy JUNIARDI, dan Rhindani Jaya WARDHANI.....	66

- Evaluasi Penyebab dan Penanggulangan Hilang Lumpur pada Operasi Pemboran Sumur X Lapangan Y HERIANTO	76
- Penyelidikan Pendahuluan Geokimia Panas Bumi Daerah Gunung Pandan Provinsi Jawa Timur Intan Paramita HATY	86
- Identifikasi, Pencegahan, dan Penanganan Hidrat pada Lapangan Gas Anas Puji SANTOSO	95

Tema III : Pengelolaan Limbah & Lingkungan Pertambangan

- Evaluasi Pembangunan Terminal Khusus (Jetty) dan Stockpile Batubara Tahap Konstruksi Terhadap Parameter TSS, Minyak dan Lemak Muhammad BUSYAIRI	107
- Kajian Daya Dukung Air Pulau Bintan Dian Hudawan SANTOSO	116
- Ancaman Bencana Lingkungan di Kecamatan Mlati Tahun 2025 Aditya Pandu WICAKSONO, Farida Afriani ASTUTI	124
- Potensi Degradasi Lahan Kawasan Karst di Das Oyo Aditya Pandu WICAKSONO	131
- Kajian Bencana Banjir Benanain Timor Barat Eko Teguh PARIPURNO, Theresia SITI, Donatue JO, Kelik ISMUNANDAR, Karen Cambell NELSON, Silvia FANGIDAE, Saverrapall S. KORVANDUS, Kunera Bui MAU	138

Tema IV : Problem & Solusi Pengembangan Minerba

- Evaluasi Potensi Penerapan Teknologi <i>Underground Coal Gasification</i> Daerah Nibung, Cekungan Sumatera Selatan Yan Bachtiar MUSLIH, Widiastuti Nur FARIDA, Frisca Marina RENANDIA, dan Osa Irda INSANI	147
- Kandungan Maseral Batubara Peringkat Rendah Kalimantan Selatan dan Pengaruhnya terhadap Konversi Batubara Cair Sebagai Energi Alternatif Edy NURSANTO, Arifudin IDRUS, Hendra AMIJAYA, dan Subagyo PRAMUMIJOYO	158
- Karakteristik Massa Batuan pada Zona <i>Cavity</i> di Tambang Kuari Batugamping Blok Sawir Tuban R. Andy Erwin WIJAYA, Dwikorita KARNAWATI, SRIJONO, dan Wahyu WILOPO	166
- Pengaruh Getaran Peledakan pada Stabilitas Lereng Penambangan Singgih SAPTONO, Ganda SIMANGUNSONG, dan Handoyo MARMER	174
- Impak Fitting Model Semivariogram pada Perhitungan Range Nur Ali AMRI	182

-	The Formation of Steam Heated - Acid Sulphate (Advance Argillic) Alteration in Associated with Low Sulfidation Epithermal Deposit in The Oligo-Miocene Volcanism, Kalibangkang Hope, Ayah Area, Southern Central Java Adi SULAKSONO, Putu A. ANDHIRA, Bambang PRASTISTHO, Joko SOESILO, SUTARTO	277
-	Karakteristik Geometri Lapisan Batubara di Antiklin Palaran Bambang KUNCORO Prasongko	287
-	Alterasi dan Komposisi Kimia Epidot pada Sumur Kmj-26 Lapangan Panasbumi Kamojang, Jawa Barat, Indonesia D.F.YUDIANTORO, Emmy SUPARKA, Suyatno YUWONO, Isao TAKASHIMA dan Yustin KAMAH	298
-	Studi Mineralisasi Daerah Paslaten dan Sekitarnya, Kecamatan Tatapaan, Kabupaten Minahasa Selatan, Sulawesi Utara Hari Wiki UTAMA, SUPRAPTO, SUTANTO	307
-	Magmatism and Porphyry Cu-Au Mineralisation at Randu Kuning Prospect, Selogiri Area, Central Java SUTARTO, Arifudin IDRUS, Spto PUTRANTO, Agung HARJOKO, Lucas DONNY, SETIADJI, Michael MEYER and Rama DANY	316
-	Hidrogeologi dan Program Konservasi Airtanah Daerah Lereng Gunung Arjuno, Kabupaten Pasuruan, Jawa Timur Sari BAHAGIARTI K., Puji PRATIKNYO, Herry RISWANDI, Eni MURYANI	330
-	Arti Penting Fragmen Breksi Formasi Mandalika di Daerah Selogiri, Wonogiri, Jawa Tengah Rama DANNY, SUTARTO, C. PRASETYADI, dan Spto PUTRANTO	348
-	Perkembangan Struktur Geologi dan Sedimentasi selama Fase Synrift, Sagging sampai dengan Kompresi di Lapangan "Key" Block, Cekungan Sumatera Tengah Jatmika SETIAWAN, Bambang TRIWIBOWO	357

- Pra Studi Kelayakan Potensi Sumberdaya Batubara di Kabupaten Tanjung Jabung Barat Provinsi Jambi
Eddy WINARNO, Wawong Dwi RATMINAH,
Dyah PROBOWATI, Andi SUBRIYANDA 189

Tema V : Problem & Solusi Pengembangan Penerapan Geofisika

- Prospeksi Kehadiran Hidrokarbon Menggunakan Kombinasi Analisa Geofisika (Kombinasi Attribute Seismik) Lapangan "Siva" Cekungan Sumatera Tengah
Ardian NOVIANTO 199
- Interpretation Of Curie Point Depth and Thermal Gradient Based on Magnetic Anomaly Data at Southern Sumatra Geothermal Area
Syamsurijal RASIMENG, Wawan Gunawan A. KADIR, Hendra GRANDIS dan Chalid Idham ABDULLAH 209
- Identifikasi Potensial Air Tanah dengan Menggunakan Metode Geolistrik di Desa Girijati Kecamatan Purwosari Kabupaten Gunungkidul, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta
Wahyu HIDAYAT, Indriati RETNO PALUPI, Ardian NOVIANTO 219
- Respon Polarisasi Terinduksi dalam Kawasan Waktu (TDIP) pada Medium Air Tanah
YATINI, Djoko SANTOSO, Agus LAESANPURA 226
- Studi Geokimia dan Potensi *Shale Hydrocarbon* Formasi Brown Shale Sumur Gamma, Jeta dan Kilo, Cekungan Sumatra Tengah Berdasarkan Data Log Mekanik
Sugeng WIDADA, Salatun SAID, Kuwat SANTOSO dan HENDARYONO... 235
- Analisa Struktur pada Lapangan "Felysia" Menggunakan Seismikrefleksi Atribut Koherensi pada Formasi Telisa Cekungan Sumatera Tengah
Febiyanti FELYSIA, Suharsono, Mahap MAHA 246
- Penentuan Adanya Rongga-Rongga dalam Batuan Berdasar Metode Geolistrik 2D Daerah Bukit Karangputih PT Semen Padang Indarung IV Sumatera Barat
Agus SANTOSO, SISMANTO, Ari SETIAWAN, SUBAGYO 258

Tema VI : Problem & Solusi Pengembangan Penerapan Geologi Umum

- Geologi dan Paragenesis Alterasi serta Kontrol Struktur Geologi Terhadap Alterasi Hidrotermal Daerah Gagemba dan Sekitarnya, Distrik Homeyo, Kabupaten Intan Jaya, Provinsi Papua
Arief PRABOWO, Jatmika SETIAWAN,
Agus HARJANTO, Fafa HEDITYA 268

APLIKASI METODE PERHITUNGAN GREEN-WILLHITE DALAM PENENTUAN TEKANAN INJEKSI POLIMER

Harry Budiharjo S

Program Studi Teknik Perminyakan, Fakultas Teknologi Mineral, UPN "Veteran" Yogyakarta
Jl. SWK 104 (Lingkar Utara), Condongcatur, Yogyakarta 55283
e-mail: harry_hb@upnyk.ac.id

Abstrak

Injeksi polimer merupakan salah satu metode pengurusan tahap lanjut yang digunakan untuk meningkatkan recovery minyak pada lapangan migas. Injeksi polimer adalah bentuk injeksi air (waterflooding) yang disempurnakan, karena penambahan bahan polimer pada injeksi air dengan konsentrasi tertentu dapat meningkatkan viskositas air sehingga dapat meningkatkan kemampuan pendesakan pada waterflooding. Adanya perubahan viskositas dari fluida injeksi akan mengakibatkan kebutuhan tekanan injeksi yang diperlukan juga berubah. Pada penelitian ini akan digunakan modifikasi fractional flow oleh Green dan Willhite untuk menghitung besarnya pressure drop (ΔP) pada pola sumur injeksi produksi inverted seven spot pada suatu lapangan migas agar dapat diperkirakan besarnya tekanan injeksi larutan polimer. Tekanan injeksi yang dibutuhkan merupakan tekanan injeksi yang paling besar terjadi, yaitu pada saat polimer breakthrough dan tidak boleh melebihi tekanan rekah formasi. Dari hasil perhitungan tekanan injeksi didapatkan bahwa kebutuhan tekanan injeksi terbesar adalah saat front polimer sampai di sumur produksi, yaitu: HB#1 = 255,93 psi, HB#2 = 295,03 psi, HB#3 = 344,71 psi, HB#4 = 298,1 psi, HB#5 = 296,17 psi dan HB#6 = 286,3 psi.

Kata kunci: polimer, tekanan injeksi, Green-Willhite.

1. Pendahuluan

Tingkat perolehan minyak (*recovery factor*) pada tahap primary dari suatu reservoir rata-rata sekitar 30%. Hal ini menunjukkan bahwa jumlah minyak yang tersisa di dalam reservoir masih cukup besar. Untuk mendapatkan minyak yang tersisa tersebut dilakukan penginjeksian fluida. Disamping untuk meningkatkan energy dari reservoirnya, fluida injeksi diharapkan akan mendesak minyak menuju sumur-sumur produksi. Hingga saat ini, air merupakan fluida injeksi yang paling banyak digunakan. Hal ini dikarenakan air tersedia dalam jumlah yang besar dan murah dibandingkan dengan fluida injeksi lainnya. Tetapi, air mempunyai kelemahan jika diterapkan pada minyak yang kental (*viscous*) yaitu efisiensi penyapuan dan efisiensi pendesakannya rendah. Salah satu cara untuk menaikkan efisiensi penyapuan dan pendesakan tersebut adalah dengan menurunkan mobilitas air, sehingga akan diperoleh harga perbandingan mobilitas yang menguntungkan. Penggunaan polimer yang larut dalam air (*water soluble polymer*) sangat membantu dalam usaha menurunkan mobilitas air injeksi tersebut.

Injeksi polimer pada dasarnya merupakan injeksi air yang disempurnakan, yaitu dengan menambahkan larutan polimer ke dalam air. Penambahan polimer ke dalam air injeksi dimaksudkan untuk meningkatkan viskositas air sebagai fluida pendesak. Peningkatan viskositas air ini menyebabkan mobilitas air berkurang, sehingga dapat lebih efektif dalam mendesak minyak yang masih tertinggal di dalam reservoir. Berkenaan dengan penambahan polimer dalam air maka tekanan injeksi yang diperlukan juga bertambah karena kekentalan fluida injeksi menjadi meningkat. Tekanan injeksi yang digunakan harus cukup untuk mendesak dan menyapu minyak



yang masih tersisa di dalam reservoir yang tadinya tidak dapat didesak oleh air. Perhitungan tekanan injeksi ini menjadi penting karena karena penambahan tidak diperbolehkan melebihi takanan rekah formasinya. Perhitungan tekanan injeksi pada penelitian ini menggunakan Metode Green-Willhite karena metode ini memperhitungkan *average apparent viscosity* untuk dapat menghitung *pressure drop* di reservoir. Nilai *average apparent viscosity* ini didapat dari hasil integrasi *reciprocal mobilitas* relatif yang mana merupakan analogi dari *single phase flow* aliran minyak-air-polymer di reservoir.

2. Dasar Teori

Polimer bisa dipergunakan dalam EOR (*Enhanced Oil Recovery*) dikarenakan sifat rheologicalnya dalam larutan. Larutan cairan dari *polyacrylamide* sering menunjukkan kelakuan rheologi dari fluida non-newtonian. Fluida newtonian mempunyai hubungan yang linear antara *shear stress* dan *shear rate*. Viskositas dalam hal ini adalah konstan.

$$\tau = \mu \dot{\gamma} \dots\dots\dots (1)$$

Jika dimasukkan hubungan shear rate menjadi,

$$\tau = K \dot{\gamma}^n \dots\dots\dots (2)$$

Jika $n \neq 1$ maka fluida menunjukkan kelakuan *non-newtonian fluid*. Kelakuan aliran dalam media berpori. *Apparent viscosity* bervariasi terhadap *shear rate*. Subskrip μ_a biasa digunakan untuk menunjukkan fluida *non-newtonian*. *Apparent viscosity* adalah besarnya viskositas dari sebuah fluida non-newtonian jika diasumsikan pada kondisi *newtonian*. Normalnya, *apparent viscosity* dari larutan polimer yang digunakan dalam proses EOR menurun karena nilai *shear rate* naik. Fluida dengan karakteristik rheologi seperti itu dikatakan sebagai *shear thinning*. Namun adapula *apparent viscosity* dari larutan semakin naik karena nilai *shear-rate* naik. Karakteristik ini disebut *shear thickening*. Penurunan *apparent viscosity* terjadi karena molekul polimer mampu menyesuaikan diri dengan bidang shear untuk mereduksi *internal friction*. Sifat rheologi dari fluida *shear-thinning* dapat digambarkan oleh model *power-law* pada persamaan. (3) yang merupakan kombinasi dari persamaan (1) dan (2) konstanta K dan n tergantung dari konsentrasi polimer.

$$\mu = K \dot{\gamma}^{(n-1)} \dots\dots\dots (3)$$

Persamaan 4 di bawah ini menunjukkan model pengembangan dari Carreau yang menjelaskan kelakuan rheological yang lengkap dari fluida *shear thinning*. Parameter n dan τ_r ditentukan dengan mencocokkan model data eksperimen. Parameter μ_{pN} adalah viskositas pada *lower newtonian region*, dan μ_∞ adalah viskositas polimer pada *shear rate* yang sangat tinggi. Pada harga *shear rate* yang tinggi, μ_∞ mendekati harga viskositas pelarut

$$\mu - \mu_\infty = (\mu_{pN} - \mu_\infty) \left[1 + \left(\frac{\dot{\gamma}}{\tau_r} \right)^2 \right]^{\frac{n-1}{2}} \dots\dots\dots (4)$$

Adanya aliran larutan polimer dalam reservoir menyebabkan terjadinya penurunan permeabilitas daripada batuan reservoir. Penurunan permeabilitas tergantung dari jenis polimer yang digunakan. Penurunan permeabilitas dideskripsikan sebagai perbandingan antara mobilitas air sebelum kontak dengan polimer dengan mobilitas air setelah pori batuan kontak dengan polimer, dinyatakan dengan F_{rr} atau RK

$$F_{rr} = \frac{\lambda_w}{\lambda_{wp}} \dots\dots\dots (5)$$

$$\text{atau: } F_{rr} (RK) = \frac{k_w}{k_{wp}} \dots\dots\dots (6)$$

Kontrol mobilitas adalah istilah umum yang menggambarkan setiap proses dimana dilakukan usaha untuk mengubah laju relatif baik fluida yang diinjeksikan maupun fluida yang didesak bergerak melewati reservoir. Tujuan utama dari kontrol mobilitas adalah untuk meningkatkan efisiensi penyapuan volumetrik dalam proses pendesakan. Dalam beberapa proses ada juga peningkatan pada efisiensi pendesakan mikroskopis pada volume tertentu dari fluida yang diinjeksikan. Kontrol mobilitas pada umumnya disebut dengan istilah *mobility ratio*, M dan sebuah proses pendesakan dianggap mempunyai kontrol mobilitas jika $M < 1.0$. Efisiensi penyapuan volumetrik secara umum akan meningkat saat harga M berkurang dan hal ini menguntungkan jika dioperasikan pada reservoir dengan variasi permeabilitas yang tinggi.

Pada Persamaan (1) menunjukkan bagaimana rasio mobilitas dapat berubah dalam sebuah proses pendesakan. Persamaan tersebut juga mengindikasikan bahwa mobilitas rasio dapat termodifikasi dengan adanya perubahan permeabilitas fluida pendorong maupun fluida yang didorong atau dengan perubahan viskositas fluida.

$$M = \left(\frac{k_{rD}}{\mu_{rD}} \right)_{SD} \dots\dots\dots (7)$$

Karena polimer termasuk fluida *non-newtonian*, maka viskositasnya akan berubah jika diberikan suatu gaya. Aliran larutan polimer dalam media berpori sangat kompleks. Polimer akan memperlihatkan karakteristik sebagai fluida *newtonian* pada *frontal-advance rate* yang rendah, lalu menunjukkan sebagai fluida *non newtonian* pada *intermediate frontal advance rate* atau dinamakan *shear thinning*. Lalu pada saat *frontal advance rate* yang tinggi, polimer kembali menunjukkan karakter fluida *newtonian*. Tapi dikarenakan di dalam reservoir *shear thinning region* lebih sering terlihat pada saat *frontal advance rate*, maka data percobaan lebih banyak diambil dari *region shear thinning*. Dari data percobaan tersebut dapat dianalisa dan diasumsikan dengan pengaplikasian hukum Darcy pada media berpori :

$$u = \lambda_p (\Delta_p / L) \dots\dots\dots (8)$$

Akan tetapi baik mobilitas polimer maupun viskositas polimer tidak dapat diketahui begitu saja dan *apparent viscosity* tak bisa dihitung kecuali harga permeabilitas dari polimer diasumsikan dengan $k_p = k_w$. Harga mobilitas polimer pada *shear thinning region* ditentukan dengan

$$\lambda_p = \frac{\lambda_p^*}{u^{nc-1}} \dots\dots\dots (9)$$

Jika laju injeksi dijaga konstan dan aliran mengalir secara linear, maka *pressure drop* seharusnya berubah sebagai respon dari perubahan saturasi fluida dan mobilitas sepanjang sistem. Hubungan antara laji unjeksi dan gradient tekanan dapat dijelaskan sebagai berikut:

$$qt = -(\lambda_{ro} + \lambda_{rw})kbA(dp / dx) \dots\dots\dots (10)$$

Jika profil saturasi diketahui, maka mobilitas dari kedua fasa dapat dihitung tiap harga x. Persamaan (10) dapat diintegrasikan untuk menentukan harga *pressure drop* berkaitan dengan harga x. Sehingga,

$$\Delta p = \frac{qL}{kA} \int_0^L \frac{1}{\lambda_{ro} + \lambda_{rw}} dx \dots\dots\dots (11)$$

dan diekspresikan dalam *dimensionless distance*,

$$\Delta p = \frac{qL}{kA} \int_0^1 \lambda_r^{-1} dx \dots\dots\dots (12)$$

Dimana λ_r^{-1} disebut *reciprocal* mobilitas relatif. Nilai dari integrasi tersebut diatas merupakan analogi dari *single-phase flow* dari fluida homogen yang melewati media berpori pada sistem linear. Karena alasan itu nilai integrasi dari total tiap region x disebut *average apparent viscosity*. Dengan *average apparent viscosity* sepanjang aliran ditentukan dengan :

$$\bar{\lambda}^{-1} = \int_0^{x_{Dp}} \lambda_r^{-1} dx_D + x(D1 - x_{Dp})\lambda_{rsw1}^{-1} + \int_{x_{D1}}^{x_{Df}} \lambda_r^{-1} dx_D + (1 - x_{Df})\lambda_{rsiw}^{-1} \dots\dots (13)$$

maka *pressure drop* dapat ditentukan dengan persamaan:

$$\Delta p = \frac{qL\bar{\lambda}^{-1}L}{1.127kbA} \dots\dots\dots (14)$$

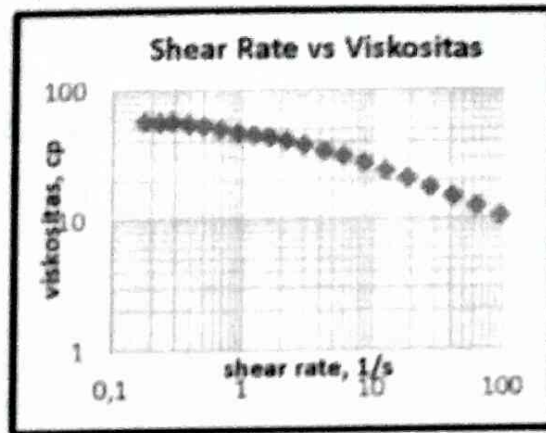
3. Metodologi

Pada penelitian ini akan digunakan metode Green-Willhite yang merupakan pengembangan dari metode Buckley-Leverett. Tahapannya adalah sebagai berikut:

1. Mengumpulkan data hasil uji laboratorium *rheological polymer*, data reservoir dan data injeksi dari pola *inverted seven spot* tiap sumur kajian (HB#1 s/d. HB#7).
2. Menghitung parameter-parameter: harga konstanta *power-law*, eksponen *power law* (n), viskositas pada *newtonian region* dan *yielding stress*.
3. Menghitung harga konstanta mobilitas polimer (λ_p^*). Untuk dapat menghitung besarnya mobilitas polimer dan viskositas polimer.
4. Menghitung harga *apparent viscosity* larutan polimer sebagai fungsi *permeability reduction* dan laju alir injeksi.
5. Menghitung *average apparent viscosity* menggunakan metode Green dan Willhite.
6. Menghitung besarnya *pressure drop* dan tekanan injeksi

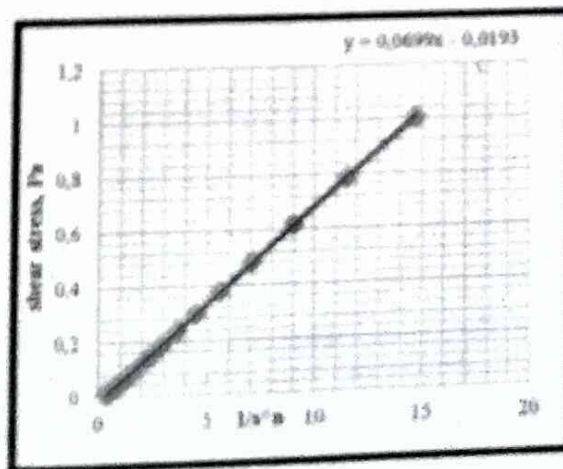
4. Hasil Dan Pembahasan

Dari hasil plot hasil tes *rheological* polimer di laboratorium didapatkan kurva sheat rate vs viskositas seperti pada Gambar 1.



Gambar 1: Shear Rate vs Viskositas Polimer

Dari determinasi kurva pada Gambar 1 yang menggambarkan grafik ($\mu - \mu_{\infty}$) vs shear rate, bahwa akhir dari *lower newtonian region* adalah pada $0.1762 \text{ seconds}^{-1}$. Sedangkan *shear-thinning region* berkisar dari $6.007 \text{ seconds}^{-1}$ sampai $95.21 \text{ seconds}^{-1}$ yang mengindikasikan adanya hubungan linear antara *shear rate* dan viskositas polimer. *Critical shear rate* didapat dari perpotongan garis interpolasi antara *newtonian region* dengan *shear-thinning region* maka didapat *critical shear rate* sebesar 1.3 seconds^{-1} . Sedangkan *power law* eksponen (n) merupakan slope dari grafik pada *power-law region*. Dari persamaan umum hubungan antara *shear rate* dan *shear stress* $\tau = K\dot{\gamma}^n$, penentuan harga K dapat ditentukan dari plot antara $\dot{\gamma}^n$ dan τ . Slope dari grafik yang diperoleh merupakan harga K seperti gambar 2. Dari persamaan garis lurus yang diperoleh, harga *Consistency Index* (K) = 0.069 dan *yielding stress* (τ_0) = -0.019 jadi parameter parameter $C = \mu_{0/n} = 56.76 \text{ cp}$, $\mu_{\infty} = 1.00 \text{ cp}$, $\tau_r = 1.3 \text{ seconds}^{-1}$, dan $n = 0.5898$ dan $K = 0.069$ dapat dilihat dari hasil perhitungan harga $n = 0.5898$ pada parameter, dimana dikatakan *shear thinning fluid*, jika $n < 1$, *newtonian fluid* $n = 1$, dan *shear thickening fluid* $n > 1$.

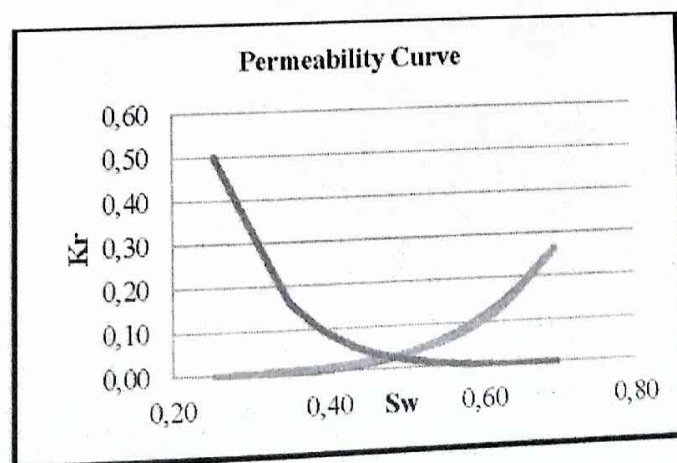


Gambar 2 : Grafik Penentuan Consistency Index

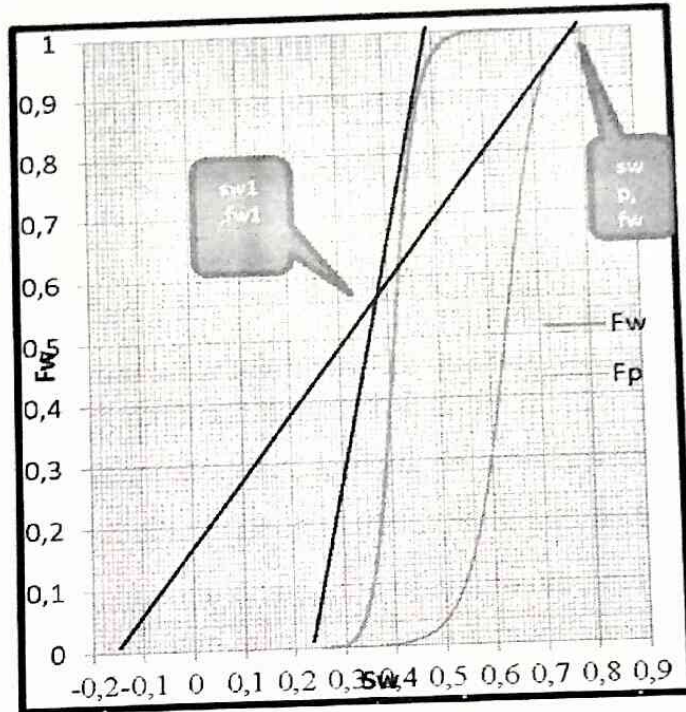
Secara keseluruhan rezim aliran polimer dalam media berpori terdiri dari 3 rezim, yaitu *lower newtonian region*, *shear-thinning region*, dan *upper newtonian region*. Selain itu, perlu juga diketahui apakah selama injeksi larutan polimer juga akan berperilaku layaknya fluida *newtonian*, yaitu viskositas yang konstan. Viskositas konstan terdapat pada *lower* dan *upper newtonian region*, dimana pada *upper newtonian region* viskositas akan konstan pada *shear rate* yang sangat tinggi sehingga viskositas dapat diasumsikan sama dengan viskositas air yaitu 1cp. Dari hasil pembacaan grafik pada Gambar 1 *lower newtonian region* terjadi jika *shear rate* di reservoir 0.03 ft/day dan *upper newtonian region* terjadi pada 592.26 ft/day sedangkan pada rate 1510 hpd *shear rate* maksimum di lubang sumur hanya 65.7 ft/day dan aliran linear di reservoir 1.81 ft/day. Karena u_1 (*lower newtonian*) dan u_2 (*upper newtonian*), maka tidak ada perilaku *newtonian fluid* dari larutan polimer selama di reservoir. Dari hasil perhitungan viskositas vs laju injeksi, maka didapat harga viskositas larutan polimer pada harga injeksi yang telah ditetapkan pada tiap sumur yaitu HB#1 = 10.73 cp; HB#2, HB#4, HB#5, HB#6 = 11.41cp dan HB#3 = 12.27 cp.

Perhitungan pressure drop dihitung berdasarkan hukum Darcy. Maka terlebih dahulu dilakukan linierisasi pola sumur injeksi dan sumur produksi. Dari sistem linear ini diperoleh harga L (panjang sumur injeksi-produksi) = 275 ft, dan A (luas area yang dilewati polimer) = 4685 ft². Oleh karena adanya *water barrier* yang digunakan mengelilingi pola seven spot, maka seluruh polimer yang diinjeksikan akan mengalir ke sumur produksi melewati penampang seluas A. Berdasarkan hal tersebut maka berlaku hukum darcy dimana kecepatan darcy pada setiap titik sepanjang L adalah sama sebesar u dengan *average apparent viscosity* sebesar μ . Perhitungan *average apparent viscosity* dengan menggunakan perhitungan dari Green dan Willhite, dimana mereka menggunakan *reciprocal relative mobility* sebagai fungsi dari saturasi tiap x *dimensionless*. Integrasi dari *reciprocal relative mobility* ini disebut sebagai *average apparent viscosity* atau viskositas semu yang merupakan analogi dari aliran satu fasa. Saat laju injeksi dipertahankan konstan selama injeksi polimer, maka *pressure drop* akan berubah sesuai perubahan saturasi dan mobilitas fluida pada sistem.

Tahap pertama adalah membuat kurva fractional flow dari injeksi polimer untuk menentukan *reciprocal relative mobility*. Gambar 3 menunjukkan kurva permeabilitas relatif minyak-air dari lapisan yang diteliti. Dari harga viskositas polimer yang didapatkan sebelumnya, maka akan terbentuk dua kurva, yaitu kurva *fractional flow* air dan kurva *fractional flow* polimer. (Gambar 4, 5 dan 6).

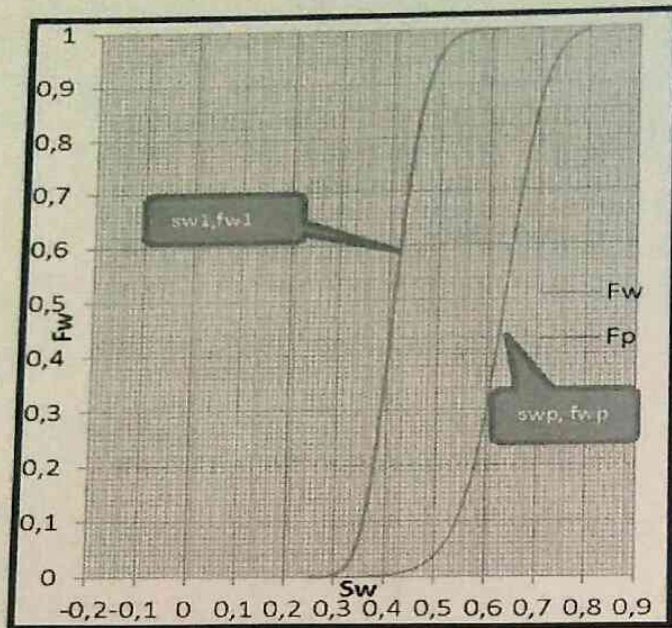


Gambar 3: Kurva Permeabilitas Relatif Lapisan yang diteliti

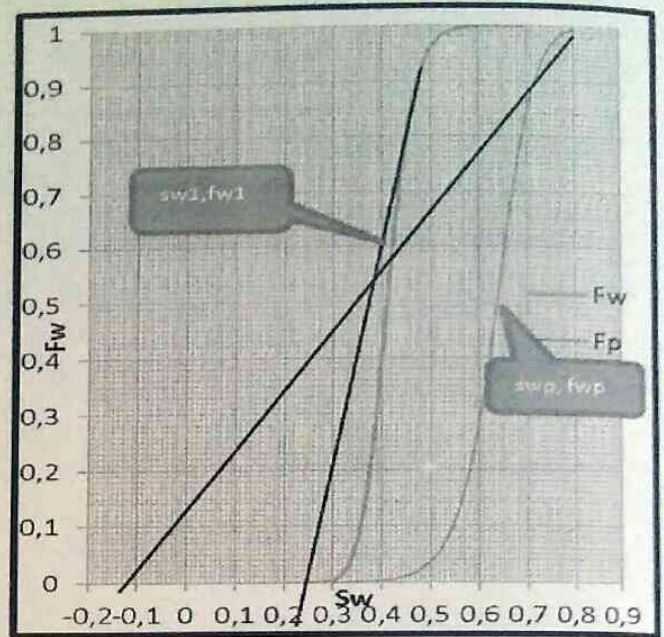


Gambar 4: Kurva Fractional Flow HB#1

Dari Gambar 4, 5 dan 6 dapat ditentukan nilai dari masing-masing *flood front*. Nilai *flood front* menunjukkan harga distribusi saturasi dari tiap *front*, baik *front* polimer maupun minyak-air. Dari hasil pembacaan kurva *fractional flow* dapat ditentukan parameter parameter lainnya seperti yang dibutuhkan. Sedangkan nilai *Average Apparent Viscosity* dihitung melalui integral tiap *region* seperti pada Persamaan 13. Dengan batas nilai *dimensionless distance* (x_D) tiap *region*, maka *average apparent viscosity* dari x_{Df} 0.25 ; 0.5 dan 0.75 berturut turut adalah 17.85 cp; 31.38 cp; dan 44.91 cp. Dengan seiring pergerakan *front* dan *rate injeksi* tetap konstan, maka saat polimer *front* mencapai sumur produksi, nilai *average apparent viscosity* menjadi 70.37 cp. Selanjutnya pada Tabel 1 disajikan salah satu hasil perhitungan pada sumur HB#1.



Gambar 5: Kurva Fractional Flow HB#2, HB#4, HB#5, HB#6

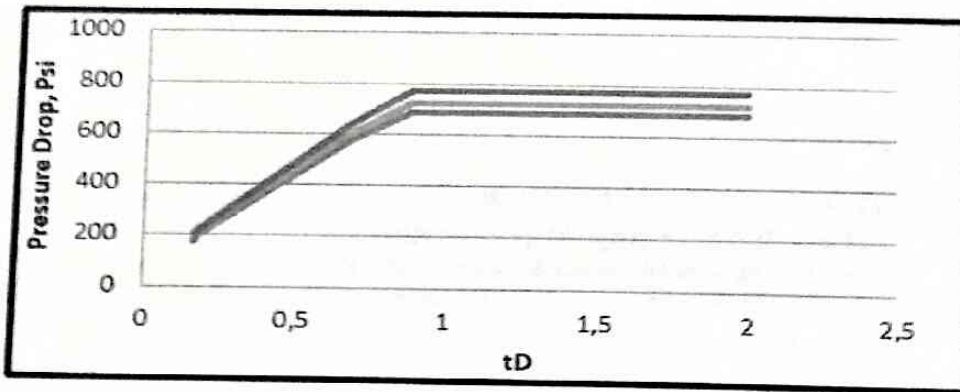


Gambar 6: Kurva Fractional Flow HB#3

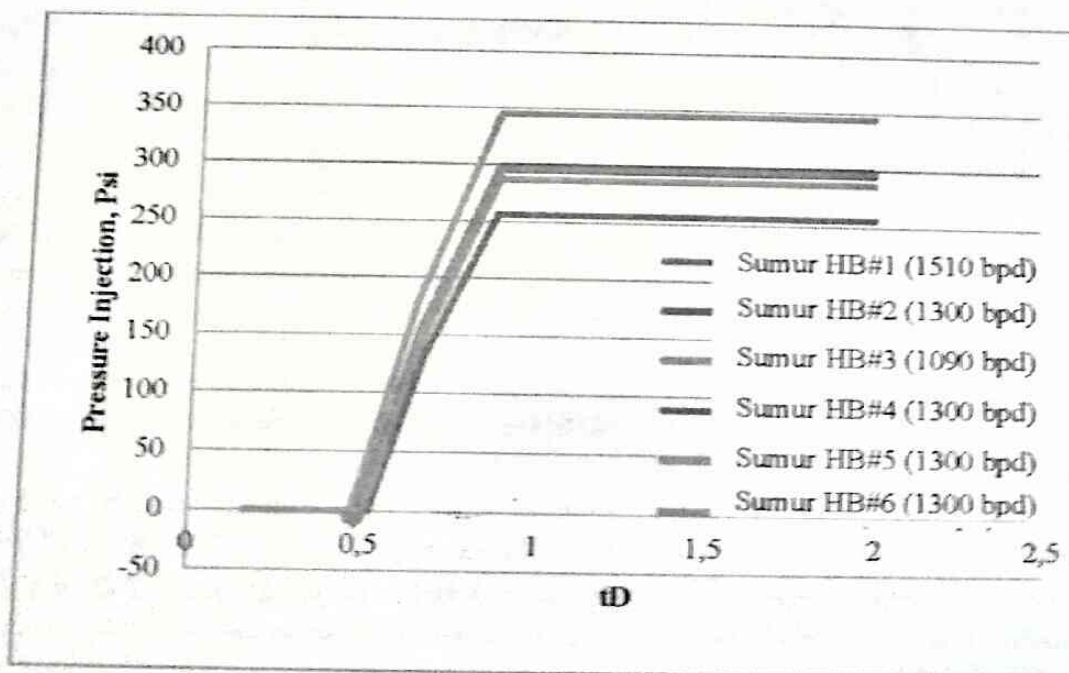
Tabel 1: Hasil Perhitungan Average Apparent Viscosity Berdasarkan Pergerakan Front

xdo	tdo	xdp	Average Apparent viscosity (cp)	pressure drop (psi)
0.25	0.17	0.19	16.10	157.18
0.26	0.18	0.20	16.66	162.70
0.27	0.18	0.21	17.22	168.21
0.45	0.30	0.34	27.39	267.46
0.46	0.31	0.35	27.95	272.97
0.47	0.32	0.36	28.52	278.49
0.48	0.32	0.37	29.08	284.00
0.49	0.33	0.37	29.65	289.51
0.50	0.34	0.38	30.21	295.03
0.69	0.47	0.53	40.94	399.79
0.70	0.47	0.53	41.50	405.30
0.71	0.48	0.54	42.07	410.82
0.75	0.51	0.57	44.33	432.87
0.96	0.65	0.73	56.18	548.66
1.00	0.68	0.76	58.44	570.72
1.00	0.71	0.80	60.25	588.37

xdo	tdo	xdp	Average Apparent viscosity (cp)	pressure drop (psi)
1.00	0.80	0.90	65.31	637.78
1.00	0.88	1.00	70.37	687.18
1.00	1.00	1.00	70.37	687.18
1.00	2.00	1.00	70.37	687.18



Gambar 7: Pressure drop profil sumur HB#1; HB#2,4,5,6 dan HB#3



Gambar 8: Profil Tekanan Innjeksi tiap sumur

Batas atas dari tekanan injeksi adalah tekanan rekah formasi. Jika tekanan injeksi melebihi tekanan rekah formasi maka akan terjadi problem rekah formasi yang tidak diharapkan. Dari perhitungan tekanan rekah formasinya didapatkan untuk sumur HB#1 = 1554 psi, HB#2 = 1561 psi, HB#3 = 1579.2 psi, HB#4 = 1549.8 psi, HB#5 = 1548.4psi dan HB#6 = 156,7 psi. jadi berkisar pada *range* 1548-1579 psi. Sedangkan harga tekanan injeksi maksimum untuk masing-masing sumur adalah HB#1 = 583.86 psi, HB#2 = 586.49 psi, HB#3 = 593.33 psi, HB#4 = 582.28 psi, HB#5 = 581.76 psi dan HB#6 = 586.75 psi, sehingga tekanan maksimum yang dapat diinjeksikan adalah sebesar 581-594 psi. Dari sumur injeksi HB#1 hingga HB#6 dihitung besarnya tekanan injeksi tidak lebih besar dari tekanan injeksi polimer yaitu sebesar $\pm 255.93 - 344.71$ psi, sehingga tidak terjadi rekahan formasi. Dari hasil perhitungan juga dapat terlihat bahwa tekanan injeksi akan meningkat seiring pergerakan *front* polimer. Tekanan injeksi cenderung akan meningkat dikarenakan perubahan harga saturasi dan viskositas larutan polimer yang semakin meningkat. Selain itu sumur HB#3 memerlukan tekanan injeksi yang lebih besar hal ini dikarenakan laju yang diinjeksikan lebih kecil dari sumur lainnya yaitu 1090 bbl/day menyebabkan harga viskositas larutan polimer menjadi lebih besar dibanding sumur lainnya. Viskositas larutan yang lebih besar menyebabkan larutan polimer akan semakin sulit untuk melewati pori batuan sehingga dibutuhkan tekanan yang lebih besar. Setelah *front* polimer tiba pada sumur produksi, tekanan injeksi cenderung konstan. Hal ini disebabkan peningkatan jumlah polimer yang diinjeksikan juga meningkatkan *average apparent viscosity* di dalam reservoir.

5. Kesimpulan

1. Dari perhitungan *rheological polymer* didapatkan : n (eksponen power-law) = 0.5898, k (konstanta *power law*) = 0.0609.
2. Harga estimasi viskositas polimer di reservoir adalah : pada laju injeksi 1510 = 10.73 cp, pada Laju injeksi 1300 bpd = 11.41 dan pada rate 1090 bpd = 12.27 cp.
3. Dari hasil perhitungan tekanan injeksi didapat bahwa kebutuhan tekanan injeksi terbesar saat *front polymer* tiba di sumur produksi, selanjutnya tekanan cenderung konstan dan besarnya tekanan injeksi tersebut adalah, HB#1 = 255.93 psi, HB#2 = 295.03 psi, HB#3 = 344.71 psi, HB#4 = 298.1 psi, HB#5 = 296.17 psi, HB#6 = 286.3psi.
4. Dari perbandingan antara tekanan injeksi polimer dan tekanan maksimum terjadinya rekah formasi, maka dapat disimpulkan tidak terjadi problem rekahan formasi.

6. Daftar Pustaka

1. Lake, W.L., (1989): "Enhanced Oil Recovery", Englewood Cliffs, Prentice Hall, New Jersey.
2. Latil, M; Bardon, C; Burger, J; Sourieau P., (1980): "Enhanced Oil Recovery", Institut Francais Du Petrole, London.
3. Revi Adib Pramudita, (2012): "Estimasi Tekanan Injeksi pada Pelaksanaan Injeksi Polimer di Area A", Skripsi Sarjana, Program Studi Teknik Perminyakan, FTM UPN "Veteran" Yogyakarta.
4. Bagus Sudaryanto, (1986): "Analisa Keberhasilan Aliran arutan Polimer di Dalam Reservoir Minyak Bumi dengan Permeabilitas Kecil Dalam Usaha Meningkatkan Produksi Minyak Bumi", Kolokium II, Institut Teknologi Bandung.
5. W.Green, Don and Willhite, Paul, (1998): "Enhanced Oil Recovery", ociety of Petroleum Engineers, Richardson, Texas.
6. _____ (2011) " *Surfactant Field Trial Team*". PT. Cevron Pacific Indonesia.