

STUDI RESERVOIR *CHEMICAL TRACER*

DI LAPANGAN X

Oleh:

Rian Apriandi*

Prof. Dr.-Ing Ir. Rudi Rubiandini R.S**

*Mahasiswa Teknik Perminyakan ITB

**Pembimbing/Dosen Teknik Perminyakan ITB

Sari

Tracer digunakan dalam industri minyak dalam rangka mengukur secara kualitatif atau kuantitatif bagaimana fluida melalui reservoir. Tracer dapat digunakan dalam interwell test atau single well test. Dalam interwell test, tracer diinjeksikan pada satu sumur bersama dengan fluida pembawa (air dalam waterflood atau gas dalam gasflood) dan terdeteksi setelah beberapa lama, yang bisa saja dari hari ke tahun. Dalam single well test, tracer diinjeksikan ke formasi dari sebuah sumur dan kemudian diproduksikan pada sumur yang sama. Tracer dapat berupa radioaktif atau kimia, gas atau liquid dan telah digunakan di industry minyak dan hidrologi selama beberapa dekade. Dalam aplikasi injeksi air, tracer berguna dalam penyempurnaan sistem komputer pemodelan reservoir melalui penetapan *time breakthrough*, injector dan producer *relationships*, *thief zones* dan *channelling*.

Dari injeksi tracer ini akan kita dapatkan data time breakthrough nyata yang terjadi di lapangan, yang nantinya akan digunakan untuk mengkalibrasi model reservoir yang sudah ada sehingga didapatkan gambaran model reservoir yang bisa merepresentasikan reservoir sebenarnya. Dengan adanya data *time breakthrough* kita mencoba membuat skenario untuk mencocokan data lapangan dan model reservoir yang kita miliki. Tetapi perubahan yang dilakukan disini hanya terbatas untuk properties interwell sumur injeksi dan sumur produksi yang sudah mengalami tracer breakthrough.

Kata kunci: injeksi, pola aliran, reservoir, interwell test, tracer, simulasi

Abstract

Tracer is used in the oil industry in order to measure qualitatively or quantitatively how the fluid through the reservoir. Tracer can be used in a interwell test or a single well test. In interwell tests, tracer is injected in one well along with the carrier fluid (water in a waterflood or gas in gasflood) and detected after a while, which could have been from day-to-year. In a single well test, the tracer is injected into the formation of a well and then produced on the same wells. Tracer can be either radioactive or chemical, gas or liquid and has been used in the oil industry and hydrology for several decade. In the application of water injection, tracer is useful in improving reservoir modeling of computer systems through the breakthrough times, injector and producer relationships, thief zones and channeling.

From this tracer injection data we will get real time breakthrough occurred in the field, which will be used to calibrate the existing reservoir model, to obtain a reservoir model that can represent the actual reservoir. With the field data we try to create scenarios to match the field data and reservoir models that we have. But the changes made here are limited to properties interwell injection wells and production wells which have had a tracer breakthrough.

Keywords: injection, flow patterns, reservoir, interwell tests, tracer, simulation

I. Pendahuluan

Pada Lapangan X, telah dilakukan metode injeksi air sebagai “*Pressure Maintenance*”. Oleh karena itu diperlukan kebutuhan akan informasi / pemahaman tentang heterogitas, arah serta pola aliran reservoir. Selain itu kebutuhan akan ‘tools’ yang dapat digunakan untuk mengkalibrasi dan memvalidasi Model Geologi-Reservoir yang ada saat ini agar menjadi lebih representatif, reliable dan teruji serta dapat dijadikan dasar perencanaan/strategi pengembangan lanjut sangat diperlukan. Untuk mengetahui efektivitas injeksi air yang dilakukan serta arah dan pola aliran air injeksi dalam reservoir diperlukan suatu metode penginderaan yaitu dengan menginjeksikan “*TRACER*”.

Tracer digunakan dalam industri minyak dalam rangka mengukur secara kualitatif atau kuantitatif bagaimana fluida mengalir melalui reservoir. Kegunaan dari waterflood tracer berdasarkan asumsi bahwa pergerakan tracer mencerminkan pergerakan dari air injeksi. Seberapa benar hal ini tergantung seberapa dekat tracer mengikuti air injeksi melalui formasi tanpa loss dan delay yang signifikan.

Data-data dari proyek ini diharapkan dapat digunakan untuk memantau dan menilai banyak parameter aliran. Meskipun model simulasi komputer sistem reservoir, dikembangkan dengan menggunakan data yang dihasilkan selama survei seismik reservoir, pengukuran tekanan dan wellbore logging dapat memberikan indikasi aliran fluida injeksi yang diharapkan melalui sistem reservoir, namun hal ini tidak bisa sepenuhnya diandalkan untuk memberikan informasi yang akurat tentang aliran actual.

Terutama, hal ini disebabkan skala reservoir sumur minyak di mana biasanya berjarak ratusan meter memungkinkan pembentukan heterogeneities interwell dapat terjadi (misalnya lapisan permeabilitas tinggi, *interzone communication*). Dalam aplikasi injeksi air, tracer berguna dalam penyempurnaan sistem komputer pemodelan reservoir melalui penetapan *breakthrough times*, *injector* dan *producer relationships*, *interzone communication*, *thief zones* dan *channelling*.

Tujuan dari simulasi reservoir adalah untuk mengembangkan model matematik reservoir dengan memprediksi kelakuan aliran multifasa di dalam reservoir. Model matematik ini berdasarkan model geologi dan sifat karakteristik reservoir. Secara umum, simulasi reservoir ini terdiri dari pembuatan model, inisialisasi, history matching dan forecasting.

II. Tracer

Kegunaan dari waterflood tracer berdasarkan asumsi bahwa pergerakan tracer mencerminkan pergerakan dari air injeksi. Seberapa benar hal ini tergantung seberapa dekat tracer mengikuti air injeksi melalui formasi tanpa loss dan delay yang signifikan. Hal ini bergantung seberapa bagus komposisi kimia tracer menghadapi property reservoir.

2.1. Fungsi Tracer

Studi tracer dapat memberikan informasi berikut:

- Uji komunikasi fault/channel
- Penentuan secara tepat sumber air yang diproduksi di seluruh sumur produksi yang menjadi target dari sumur injeksi
- Waktu breakthrough yang pertama kali dari tracer sehingga dapat digunakan untuk mengkalibrasi model simulator
- Penyempurnaan sistem komputer pemodelan reservoir melalui penetapan *breakthrough times*, *injector* dan *producer relationships*, dan *channeling*.
- Mendeskripsikan reservoir.

2.2 Klasifikasi Tracer

Tidak ada klasifikasi tracer yang benar-benar pasti di industry permifyakan. Secara umum, ada 3 jenis tracer yang banyak digunakan di industry permifyakan. 3 jenis tracer tersebut adalah *radioactive tracers*, *non-radioactive tracers*, dan *partitioning tracers*³.

2.2.1 Radioactive Tracers.

Radioactive tracers adalah bahan kimia yang mengandung radioaktif isotop yang dapat meluruh ke keadaan stabil dan dapat memancarkan radiasi beta atau gamma. Isotop ini dapat

diidentifikasi berdasarkan keunikan tipenya dan pancaran radiasinya. *Radioactive tracer* banyak digunakan pada interwell tracer di industry perminyakan. Tracer ini digunakan untuk menginvestigasi hampir semua aspek pemboran, kompleksi dan profil produksi/injeksi⁶. Walaupun radioaktif tracer mempunyai beberapa keunggulan seperti *low natural background*, sedikit reaksi dengan fluida reservoir dan batuan, dan perilaku aliran yang mirip dengan fluida injeksi. Ada kelemahan utama pada *radioactive tracer* yang berasal dari karakteristiknya sendiri yaitu keradioaktifannya. Pertimbangan khusus harus diperhitungkan dalam setiap langkah pengujian tracer lapangan.

2.2.2 Non-radioactive Tracers.

Secara harfiah, *non-radioactive tracer* tidak mengandung isotop radioaktif dan dapat diidentifikasi dan diukur dengan metoda analisa yang umum seperti konduktivitas dan spektrometri elemental. Umumnya bentuk dari non-radioactive tracer mempunyai arti yang sama dengan *chemical tracer*.²

2.2.3 Partitioning Tracers.

Perilaku *partitioning tracer* sangat berbeda dengan *conservative tracer*, subset dari *non-radioactive tracer*. *Partitioning tracer* dapat berinteraksi secara fisik atau kimia dengan matrix batuan atau fluida reservoir dan dapat terlarut dalam minyak seperti terlarut dalam air. Namun untuk *partitioning tracer* yang ideal, koefisien *Partitioning* harus konstan. Biasanya *Partitioning tracer* diinjeksikan ke reservoir bersama dengan *conservative tracer*. Akibatnya *Partitioning tracer* akan terpartisi di dalam dan di luar fasa minyak maka *Partitioning tracer* merambat lebih lambat dari *conservative tracer*. Keterlambatan ini adalah pengukuran langsung dari volum minyak di reservoir⁷⁻¹⁰. Oleh karena itu teknik ini sangat berguna dalam memperkirakan saturasi minyak tersisa.

2.3 Kriteria Untuk Sebuah Tracer

Agar tracer dapat digunakan dalam program *monitoring* waterflood, tracer harus memiliki properti yang akan memastikan perilaku sebagai bulk media pembawa (air). Penyimpangan dari "ideal" dapat

menghasilkan informasi yang salah sehingga harus dihindari. Agar suatu material dapat digunakan sebagai tracer, material tersebut harus memiliki properti sebagai berikut:

1. Tidak reaktif terhadap zat yang ada dalam reservoir dan stabil selama minimal 5 tahun pada kondisi suhu dan tekanan reservoir.
 2. Tidak mengalami penyerapan atau pertukaran dengan formasi dalam reservoir sistem.
 3. Menghasilkan respon yang jelas selama analisis.

2.4 Jumlah Tracer yang Dibutuhkan

Perkiraan kebutuhan tracer dapat dilakukan dengan menghitung total volume air yang diperkirakan akan mengalami kontak dengan tracer ketika dalam perjalanan melalui reservoir. Diasumsikan bahwa kondisi homogen dan asumsi pesimis total cairan dalam volume air dibuat. Perhitungan ini sangat pesimis karena data yang tercatat menunjukkan bahwa injeksi pulsa awal tracer biasanya hanya diperpanjang selama sekitar 25% dari volume total interwell.

Dalam semua kasus, penilaian cairan telah terbukti pesimis dan tracer telah siap dideteksi dalam sampel air yang dihasilkan pada tingkat yang melebihi konsentrasi puncak yang diharapkan. Perhitungan jumlah tracer dibutuhkan adalah didasarkan pada profil produksi maksimum 10 kali batas deteksi.²

Jumlah tracer yang dibutuhkan dapat dilakukan dengan mengikuti persamaan :

2.5 Parameter Tracer untuk Karakterisasi Reservoir

Penggunaan tracer dalam studi reservoir dapat memberikan informasi tentang property dan pola aliran di dalam reservoir. Parameter utama dari reservoir yang dapat diperoleh dari tracer survey adalah sebagai berikut¹:

1. Kecepatan tracer dalam lapisan yang melibatkan matching dari time breakthrough pada sebuah sumur; indeks ini membantu untuk menentukan kecepatan dari water filtration sebagai fungsi dari faktor permeabilitas dan volume rekahan.

2. Konsentrasi tracer mencirikan tingkat pengenceran air injeksi saat tercampur dengan air formasi; kecepatan filtrasi yang tinggi ditambah konsentrasi tracer yang tinggi menunjukkan permeabilitas yang tinggi dan volume zona utama yang rendah.
3. Frekuensi pengambilan sampel tracer selama periode waktu yang diinginkan menunjukkan keheterogenan zona tersebut; hal ini menjelaskan perbedaan time breakthrough dari aliran yang berbeda karena perbedaan pengenceran oleh air formasi dan ditandai dengan tingkat penyerapan yang berbeda selama mengalir melalui batuan.

Menggabungkan parameter-parameter ini memungkinkan untuk penentuan komunikasi antara sumur injector dan producer, hambatan aliran dan batasan, identifikasi sistem single atau dual porositas/permeabilitas, karakteristik ruang interwell dan hubungan vertical dengan reservoir lainnya. Untuk reservoir simple dengan single porositas, kecepatan dari air injeksi sekitar belasan meter dalam sehari sedangkan kecepatan air injeksi pada reservoir dual porositas mungkin mencapai beberapa ratus meter dalam sehari. Kecepatan yang tinggi dalam sebuah reservoir rekah dapat dijelaskan dengan adanya kapasitas yang rendah dan konduktivitas yang tinggi dari suatu rekanan.

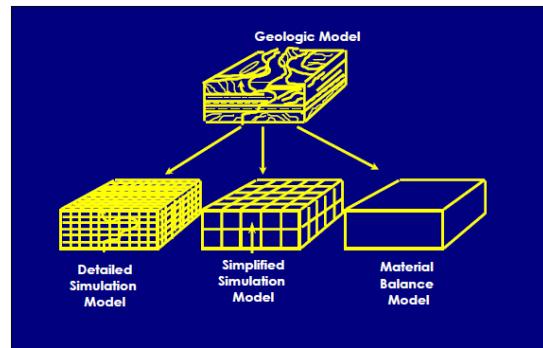
Memperkirakan permeabilitas adalah tugas yang paling sulit ketika menganalisa reservoir karena data log, pengukuran core dan hasil tes tidak memberikan catatan lengkap permeabilitas sepanjang volume reservoir terutama pada formasi yang heterogen.

III. Simulasi Reservoir

Tujuan dari simulasi reservoir adalah untuk mengembangkan model matematik reservoir dengan memprediksi kelakuan aliran multifasa di dalam reservoir. Model matematik ini berdasarkan model geologi dan sifat karakteristik reservoir. Secara umum, simulasi reservoir ini terdiri dari pembuatan model, inisialisasi, *history matching* dan prediksi reservoir.

3.1 Pembuatan Model

Simulator Eclipse dapat digunakan untuk memodelkan sistem grid reservoir suatu dari lapangan. Membagi reservoir ke dalam banyak blok dan diwakili dengan blok-blok grid. Persamaan diffusivitas digunakan untuk persamaan aliran pada tiap sel dan metode numeric finite difference untuk mendapatkan tekanan, produksi dan saturasi yang berubah terhadap waktu.



Gambar 1. Jenis Pemodelan Reservoir

3.2 Inisialisasi

Tahap ini bertujuan untuk menyelaraskan volume minyak awal pada reservoir, hasil perhitungan dari inisialisasi dibandingkan dengan hasil perhitungan volumetrik. Perbedaan yang mendasar antara metode perhitungan volumetric dan inisialisasi adalah penyebaran saturasi air pada model reservoir, pada metode perhitungan volumetrik, penyebaran saturasi berdasarkan hasil analisa Resistivity Log dan Geostatistik, sedangkan pada tahap initialization saturasi air disebarluaskan berdasarkan hubungan tekanan kapiler (P_c) terhadap saturasi air (S_w). Tahapan ini juga bertujuan untuk memvalidasi hubungan tekanan kapiler terhadap saturasi air. Jika hasil perhitungan inisialisasi tidak sama atau mendekati hasil perhitungan metode volumetrik, maka parameter-parameter reservoir yang mempengaruhi perhitungan volume minyak awal seperti, tekanan kapiler (baik nilai end point ataupun kurva P_c terhadap S_w), pore volume, dan end point saturation diubah-ubah (adjust), sampai volume minyak yang terhitung mendekati atau sama dengan volume minyak hasil perhitungan volumetrik.

3.3 Penyelarasan (*History Matching*)

Untuk mendapatkan model reservoir yang memiliki karakteristik mendekati karakteristik reservoir aslinya, diperlukan proses validasi property-property reservoir dengan cara *history matching*. Property-property yang harus divalidasi seperti porositas, permeabilitas, NTG dan sifat fluida reservoir. Parameter-parameter yang dijadikan indikator validasi dalam studi ini seperti, produksi minyak terhadap waktu, produksi air dan produksi liquid total minyak dan air. Jika hasil simulasi model reservoir seperti profil produksi liquid total belum mendekati profil tekanan reservoir sebenarnya, maka property-property reservoir yang disebutkan diatas diubah-ubah (adjust) sehingga profil produksi total dari model simulasi mendekati profil produksi sebenarnya.

Laju alir total liquid (liquid production rate) yang merupakan penjumlahan dari laju alir minyak dan air digunakan sebagai constrain awal dalam history matching. Penyelarasan produksi liquid akan digunakan sebagai indikator validasi permeabilitas absolut reservoir. Pada tahap pemodelan reservoir, penyebaran properti permeabilitas menggunakan hasil analisa routine core, dengan menggunakan persamaan transform porositas-permeabilitas didapatkan nilai permeabilitas model reservoir. Jika profil tekanan dan profil produksi liquid selaras (match) dengan data history, maka dapat dikatakan model aquifer dan penyebaran permeabilitas yang digunakan valid.

Setelah di dapatkan penyebaran permeabilitas yang valid hasil penyelarasan profil produksi liquid, tahapan selanjutnya dalam *history matching* adalah penyelarasan profil produksi minyak (Oil Production Rate) dan profil produksi air (Water Production Rate). Pada tahapan ini, parameter permeabilitas relatif sangat berpengaruh. Parameter lain yang berpengaruh adalah tekanan kapiler, namun karena pada tahapan initialization paramater tekanan kapiler telah divalidasi dengan volume minyak awal (initial oil in place) maka pada tahapan ini untuk paramater tekanan kapiler tidak ada perubahan. Secara umum hasil simulasi memberikan gambaran yang serupa (match) dengan data sejarah produksi.

Perbedaan antara hasil simulasi dan data sejarah produksi di atas nantinya dapat menyebabkan peramalan (forecasting) kinerja produksi yang tidak akurat. Untuk mencegah hal ini, dilakukan proses Productivity Index Matching. Metode ini dilakukan dengan cara menghilangkan data sejarah produksi selama waktu tertentu, dengan tujuan nilai Productivity Index untuk sumur-sumur yang digunakan dalam simulasi sama dengan nilai Productivity Index di lapangan tanpa ada Constraint dalam simulasi reservoir. Jika laju alir produksi minyak hasil simulasi lebih besar dibandingkan dengan data sejarah produksi maka nilai Productivity Index yang digunakan dalam simulasi terlalu besar, dengan metode Trial and Error dapat ditentukan nilai Productivity Index yang benar.

3.4 Peramalan Kinerja Produksi (*Forecasting*)

Setelah mendapatkan model reservoir yang telah divalidasi melalui proses History Matching, langkah selanjutnya dalam simulasi reservoir adalah tahap peramalan (*forecasting*). Pada tahapan ini distribusi fluida hasil history matching merupakan faktor utama keakuratan peramalan kinerja produksi reservoir. Dalam tahapan peramalan (*forecasting*) dilakukan analisa skenario-skenario perencanaan. Dengan menentukan satu skenario sebagai base case dan membandingkan skenario-skenario lain terhadap base case maka akan didapatkan skenario terbaik. Pada studi ini existing skenario digunakan sebagai base case, dimana existing skenario merupakan skenario dimana kondisi reservoir terakhir dari data sejarah produksi diramalkan kinerja produksinya selama selang waktu tertentu tanpa ada kegiatan peningkatan recovery selama selang waktu tersebut.

Pertimbangan penting ketika memprediksi model reservoir :

1. Prediksi tidak boleh melebihi kemampuan model
2. Prediksi harus konsisten dengan praktik di lapangan.
3. Simulasi menghasilkan solusi yang tidak jelas dengan ketidakpastian yang berasal dari :
 - Kurangnya validasi
 - Kendala pemodelan atau matematis yang dibuat ketika pembuatan model

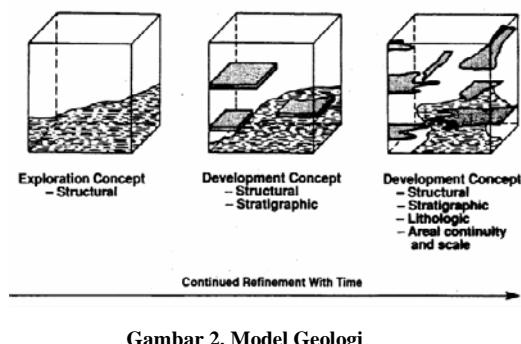
- Ketidakpastian yang berasal dalam karakterisasi reservoir dan/atau upscaling model

Setiap masalah dapat dipecahkan jika membuat asumsi, kuncinya adalah menentukan asumsi yang tepat. Tidak semua pertanyaan menuntut pemodelan yang mendalam setiap detail.

3.5 Sumber Ketidakpastian dalam Simulasi Reservoir

Sumber ketidakpastian dalam simulasi⁵:

1. Kuantitas dan kualitas data
2. Persamaan yang digunakan
3. Deskripsi geologi (umumnya merupakan aspek yang paling tidak pasti)



Gambar 2. Model Geologi

4. Upscaling

IV. Data

Data umum yang digunakan dalam simulasi tracer, dibagi menjadi empat (4) bagian, yaitu data karakteristik reservoir, data rencana sumur injeksi dan monitor, data model reservoir , data time breakthrough dan konsentrasi tracer yang terproduksikan.

4.1 Data Karakteristik Reservoir

Berikut adalah data properties reservoir. Lapangan X ini memiliki average porosity sebesar 0.16, permeabilitas rata-rata sebesar 37-100 mD, saturasi air inisial sebesar 26 % dan temperature reservoir 248 °F.

4.2 Data Rencana Sumur Injeksi dan Monitor

- Injector (3 Sumur)
 - X-19i (Cluster-F/Konversi)

- X-28i (Cluster-D/4i)
- X-06i (Cluster-C)
- Producer / monitor (16 Sumur)
 - X-04, X-11, X-12, X-14, X-15, X-23 (X-19i/F)
 - X-05, X-07, X-08, X-17, X-18, X-21, X-24 X-25, X-26, X-29 (X-28i&06i/C & D)

4.3 Data Model reservoir

Berupa data model reservoir dari user, dimana model yang sudah ada merupakan model Eclipse. Model ini mencerminkan Lapangan X yang sebenarnya baik dari segi properties reservoir, properties fluida maupun letak sumur injeksi dan produksi. Dimana model yang digunakan sudah matching dalam hal OOIP, maupun untuk *production history*.

4.4 Konsentrasi Tracer Terproduksi dan Data Time Breakthrough

4.4.1 Konsentrasi Tracer Terproduksi

Chemical provider menggunakan asumsi pesimistik untuk menghitung jumlah tracer dimana kasus volume dilution terburuk dimasukan dalam perhitungan dan potensi volume total air yang mungkin berhubungan dengan tracer juga telah dipertimbangkan.Dalam kasus ini, reservoir diasumsikan perfect homogenous dan aliranya isotropic.

Dalam aplikasinya di lapangan, Tracer yang digunakan untuk diinjeksikan dibedakan menjadi tiga tipe, type 190c yang diinjeksikan ke sumur injeksi X-6i, tipe 140a yang diinjeksikan ke sumur X-19i dan tipe 140c yang diinjeksikan ke sumur X-28i.Dimana volume yang diinjeksikan adalah sebesar 100 kgs untuk tracer 190c (dilarutkan ke dalam 500 liter air dan memiliki konsentrasi solution akhir 20%), 150 kgs untuk tracer 140a (dilarutkan ke dalam 750 liter air dan memiliki konsentrasi solution akhir 20%) dan 120 kgs untuk tracer 140c (dilarutkan ke dalam 1200 liter air dan memiliki konsentrasi solution akhir 10%)

Jadwal Penginjeksian Tracer

Dalam pelaksanaannya, injeksi tracer di Lapangan X ini,dibagi menjadi 3 sequences dimana

untuk sumur injeksi X-19i, penginjeksian tracer dilakukan pada tanggal 2 November, X-06i pada tanggal 3 November dan X-28i pada tanggal 4 November.

4.4.2 Data Time Breakthrough

Setelah proses injeksi berlangsung, dilakukan pengambilan sample fluida reservoir dari sumur-sumur produksi dan dilakukan analisis untuk mengetahui apakah ada konsentrasi tracer yang terdeteksi di sumur produksi. Data time breakthrough di lapangan sebagai berikut :

- Untuk sumur monitor X-24 didapatkan waktu breakthrough tracer sebesar 8 (delapan) hari.
- Untuk sumur monitor X-18 didapatkan waktu breakthrough tracer sebesar 160 (seratus enam puluh) hari.
- X-07 terjadi breakthrough saat hari ke 270 (9 bulan)
- X-26 terjadi breakthrough saat hari ke 330 (11 bulan).

V. Pengolahan Data dan Pembahasan

Dengan data model reservoir yang sudah ada kami mencoba untuk mensimulasikan injeksi tracer dengan design sumur injeksi dan sumur pengamat, type tracer dan schedule yang kita gunakan juga mencakup data real yang terjadi di lapangan, sehingga diharapkan dengan memasukan data-data ini akan didapatkan model injeksi tracer yang merepresentasikan hasil sebenarnya di lapangan.

5.1 Hasil dari Simulasi Dengan Model Awal

Simulasi diawali dengan model awal, kemudian dari hasil yang terjadi di lapangan dilakukan kalibrasi model, sehingga dari model awal yang ada dibuat model yang mencerminkan keadaan yang terjadi di lapangan.

Dari data yang ada dilakukan perubahan model reservoir untuk mendapatkan hasil yang matching antara data lapangan dengan model reservoir yang kita miliki, sehingga kita dapat merubah model reservoir yang sudah kita miliki agar lebih menggambarkan apa yang sebenarnya terjadi di reservoir lapangan X ini.

Model simulasi yang dikembangkan :

Sumur X-24

Pada sumur X-24, terjadi breakthrough saat hari ke-8. Dari simulasi model awal didapat time breakthrough sebesar 300 hari. Untuk mendapatkan time breakthrough sesuai dengan yang didapatkan di lapangan maka dilakukan perubahan, yaitu merubah permeabilitas menjadi 40 kali lebih besar dari model awal dan merubah oil/water saturation function, dimana dari model reservoir yang ada zona interwell antara sumur injeksi X-28i dan X-24 termasuk dalam zona saturasi dengan data permeabilitas relative dan saturasi air. Disini dilakukan perubahan nilai permeabilitas relative dikarenakan perubahan properties model tidak memberikan hasil yang matching walaupun sudah diperbesar 40 kali dari model awal. Dari merubah nilai permeabilitas relative sebesar 0.21 menjadi 0.3 baru kita dapatkan hasil time breakthrough yang mendekati dengan data lapangan yaitu sebesar 10 hari.

Tabel 1. Skenario dan Hasil dari Sumur X-24

No	Skenario	Perubahan	Time Breakthrough X-24
1	Skenario 1	Perubahan Properties Batuan (permeabilitas) 20 kali dari model awal	40 hari
2	Skenario 2	Perubahan permeabilitas 40 kali dari model awal	20 hari
3	Skenario 3	Perubahan permeabilitas 40 kali dari model awal dan perubahan kr vs sw	10 hari

Dari data diatas dapat terlihat penyebaran tracer type 140c yang diinjeksikan ke sumur injeksi X-28i lebih mengarah ke sumur X-24, hal ini mungkin disebabkan karena adanya properties reservoir yang lebih bagus antara sumur injeksi dan sumur monitor X-24 dan X-26 atau adanya fracture antara sumur-sumur tersebut karena dari hasil simulasi model awal dan data lapangan didapatkan hasil yang relative jauh yaitu sebesar 300 hari untuk

simulasi model awal dan 8 hari untuk hasil time breakthrough sebenarnya yang terjadi di lapangan.

Sumur X-26

Pada sumur X-26 tidak diperlukan lagi perubahan properties interwell, karena jika dilihat dari time breakthrough model akhir didapatkan sebesar 310 hari meskipun pada model awal didapatkan time breakthrough sebesar 660 hari, hal ini disebabkan karena sumur X-24 dan X-26 berada dalam satu jalur, sehingga perubahan properties interwell antara sumur injeksi X-28i dan X-24 memberikan pengaruh yang significant terhadap time breakthrough sumur X-26. Dari sini dapat juga kita simpulkan, penyebaran tracer yang terjadi lebih relative mengarah ke utara, dimana terdapat sumur monitor X-24 dan X-26.

Sumur X-07

Pada sumur X-07, terjadi breakthrough saat hari ke 270. Dari simulasi model awal didapat time breakthrough sebesar 60 hari. Untuk mendapatkan time breakthrough sesuai dengan yang didapatkan di lapangan maka dilakukan perubahan, yaitu merubah permeabilitas horizontal menjadi 0.2 kali dari model awal, transmissibility fault antara sumur injeksi X-06i dan sumur monitor X-07 dirubah menjadi 0.01. Hasil time breakthrough yang didapatkan sebesar 270 hari.

Tabel 2. Skenario dan Hasil dari Sumur X-07

No	Skenario	Perubahan	Time Breakthrough X-07
1	Scenario 1	Transmisibility menjadi 0.5	80 hari
2	Skenario 2	Transmisibility menjadi 0.1	140 hari
3	Skenario 3	Transmisibility menjadi 0.01	180 hari
4	Skenario 4	Perubahan permeabilitas horisontal x0.2 , dan transmisibility menjadi 0.01	260 hari

Sumur X-18

Sedangkan untuk sumur X-18, terjadi breakthrough saat hari ke 160. Dari simulasi model

awal didapat time breakthrough sebesar 170 hari. Dan setelah dilakukan perubahan transmissibility fault dan permeabilitas antara sumur injeksi X-06i dan sumur produksi X-07 menjadi 0.01 kali dari model awal untuk transmissibility dan 0.2 kali untuk permeabilitas, didapatkan time breakthrough X-18 sebesar 160 hari, hal ini dikarenakan terjadi perubahan penyebaran tracer karena perubahan transmissibility fault. Dari data diatas dapat terlihat penyebaran tracer type 190c yang diinjeksikan ke sumur injeksi X-06i lebih mengarah relative ke sumur utara ke arah X-7 dan X-18.

VI Kesimpulan dan Saran

6.1 Kesimpulan

1. Studi chemical tracer di lapangan X telah berhasil mengidentifikasi *flow pattern* aliran air injeksi yang menggambarkan *direct connectivity* antara sumur injector dan sumur monitor. Hal ini dibuktikan dengan adanya data *time breakthrough* tracer di lapangan yaitu :
 - Aliran dari Sumur injeksi X-28i ke sumur monitor X-24 dan X-26.
 - Aliran dari Sumur injeksi X-6i ke sumur monitor X-7 dan X-18.

Tabel 3. Perubahan Properties dan Hasil Simulasi

No	Sumur	Perubahan	Time Breakthrough
1	X-24	Perubahan permeabilitas 40 kali dari model awal dan perubahan kr vs sw	10 hari
2	X-26	Tidak ada perubahan	310 hari
3	X-07	Perubahan permeabilitas horisontal x0.2 , dan transmisibility menjadi 0.01	270 hari
4	X-18	Tidak ada perubahan	160 hari

2. Berdasarkan mapping pola *time breakthrough* antara sumur injeksi dan produksi didapatkan gambaran arah aliran air injeksi relative dari arah Selatan ke Utara
3. Dari data *time breakthrough* dapat digunakan untuk mengidentifikasi beberapa fault yang berada di antara sumur injeksi dan produksi seperti :

- Fault antara sumur X-6i dengan X-07

Dimana fault yang ada tidak bersifat fully sealing berdasarkan data *time breakthrough* yang ada. Sehingga dapat disimpulkan bahwa fault yang ada tidak membuat reservoir bersifat *compartment*.

4. Melihat kondisi yang ada dimana *clustering* wilayah Lapangan X dibagi menjadi dua bagian, sumur produksi di wilayah Utara dan sumur injeksi di wilayah Selatan sudah tepat. Karena dilihat dari arah penyebaran arah aliran injeksi yang dilakukan di sumur-sumur injeksi di wilayah Selatan pola alirannya relative mengarah ke Utara.

6.2 Saran

1. Dilakukan perubahan properties interwell antara sumur injeksi X-28i dan sumur monitor X-24, dengan cara merubah permeabilitas reservoir menjadi $40x$ permeabilitas awal, dan *saturation function* antara sumur X-24 dan X-28i
2. Dilakukan perubahan properties interwell antara sumur injeksi X-06i dan sumur monitor X-7, dengan cara merubah permeabilitas reservoir menjadi $0.2 \times$ permeabilitas awal, dan merubah transmissibility fault menjadi 0.01.

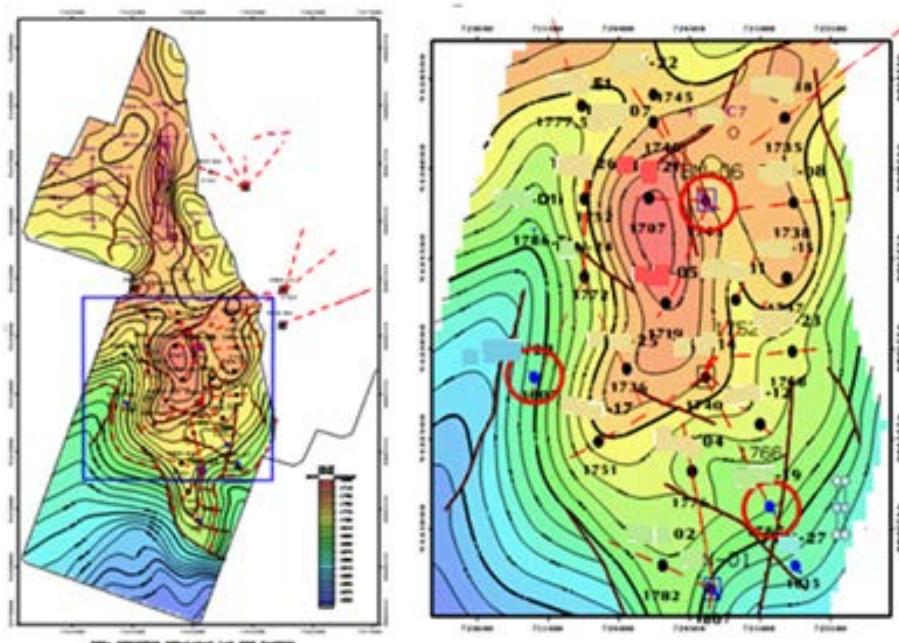
Daftar Simbol

- | | |
|--------|---------------------------------------|
| r | = distance from injector to producers |
| H | = thickness |
| S_w | = water saturation |
| ϕ | = porosity of the formation |

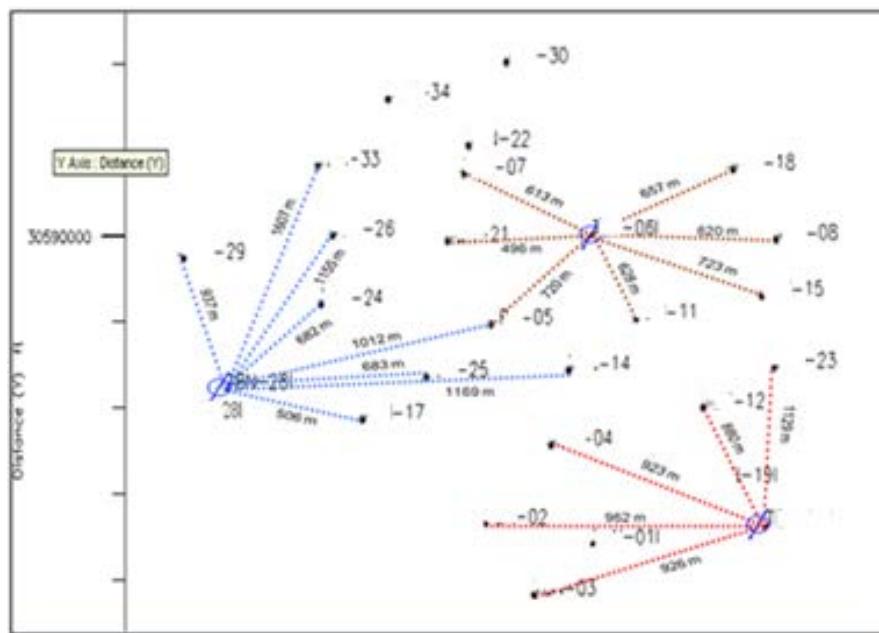
Daftar Pustaka

1. Anisimov, L.A., Kilyakov, V.N., Vorontsova, I.V.: “The Use of Tracers for Reservoir Characterization”, SPE 118862, 2009.
2. Zemel, B.: “Tracers in the Oil Field”, Elsevier Science, 1995.
3. Du, Y., New Mexico Tech, Guan, L.: “Interwell Tracer Tests: Lessons Learned From Past Field Studies”, SPE 93140, Jakarta, Apr 3-5, 2005.
4. Abbaszadeh-Dehghani, M., Brigham, W.E.: “Tracer Testing for Reservoir Description”, Journal of Petroleum Technology, May, 1987.
5. Brown, Dale : ”Reservoir Simulation Overview”, Petroleum Reserve Estimation, Production, and Production Sharing Contract (PSC) Short Course, Bangladesh University of Engineering and Technology, Apr 29-30, 2008.
6. Abernathy, S. E., Woods, S. E., and Taloy III, J.L.: “Radioactive Tracers in Oil and Gas Production: Practical Considerations in the 1990’s,” paper SPE 27236 presented at Seocnd International Conference on Health, Safety & Environment in Oil and Gas Exploration & Production, Jakarta, Indonesia, 25-27 January, 1994.
7. Tang, J.S.: “Interwell Tracer Test to Determine Residual Oil Saturation in a Gas- Saturated Reservoir. Part II: Field Application,” Journal of Canada Petroleum Technology, July-August, 1991, 4(1) 34.
8. Tang, J.S.: “Interwell Tracer Test to Determine Residual Oil Saturation to Waterflood at Judy Creek BHL “A” Pool,” Journal of Canada Petroleum Technology, October, 1992, 31(8) 53.
9. Tang, J.S.: “Partitioning Tracers and In-Situ Fluid-Saturation Measurements,” SPE Formation Evaluation 1995, 10(1), 33-39.
10. Tang, J.S.: “Extended Brigham Model for Residual Oil Saturation measurement by partitioning Tracer Tests,” paper SPE 84874 presented at the 2003 SPE International Improved Oil Recovery Conference in Asia Pacific, Kuala Lumpur, Malaysia, October 20-21.
11. Permadi, A.K.: Diktat Kuliah TM-2214 Teknik Reservoir I, Penerbit ITB, Bandung, 2004.

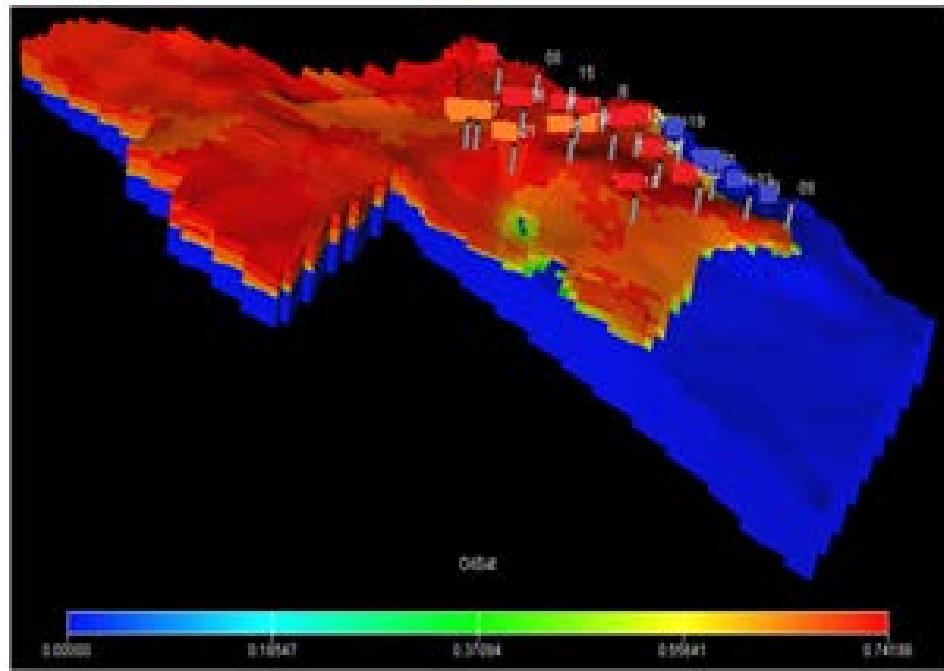
Lampiran Gambar



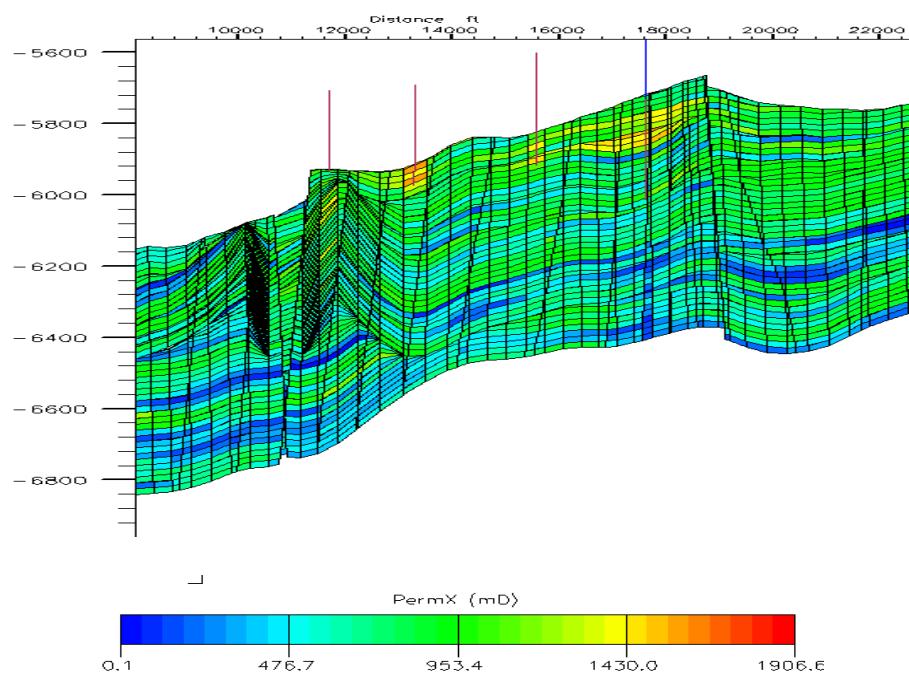
Gambar 1 Peta Kontur dan Lokasi Sumur Lapangan X



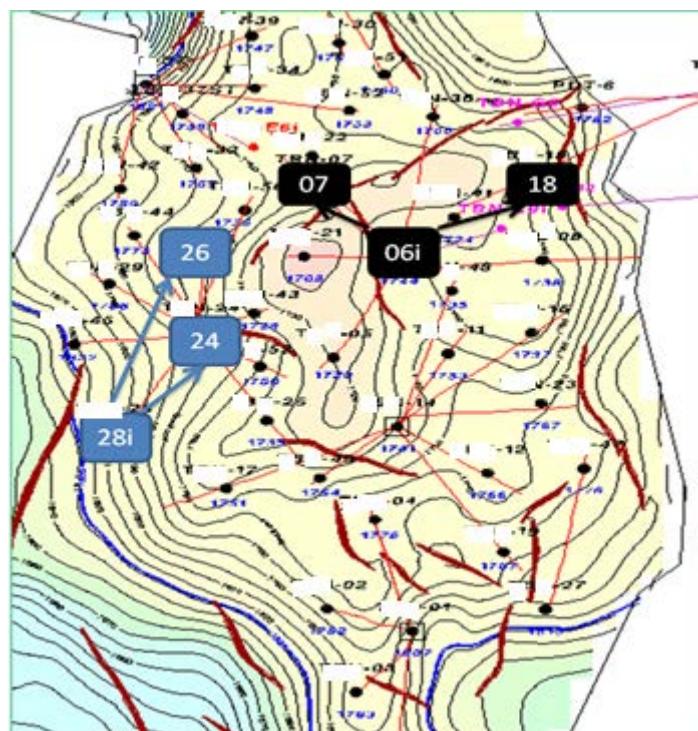
Gambar 2 Peta Rencana Sumur Injeksi dan Sumur Monitor Lapangan X



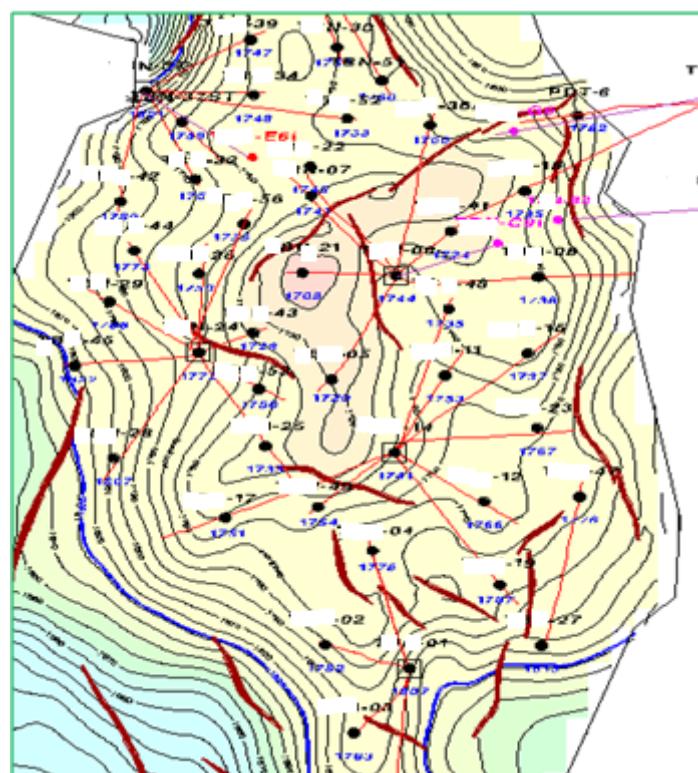
Gambar 3 Model Reservoir Lapangan X



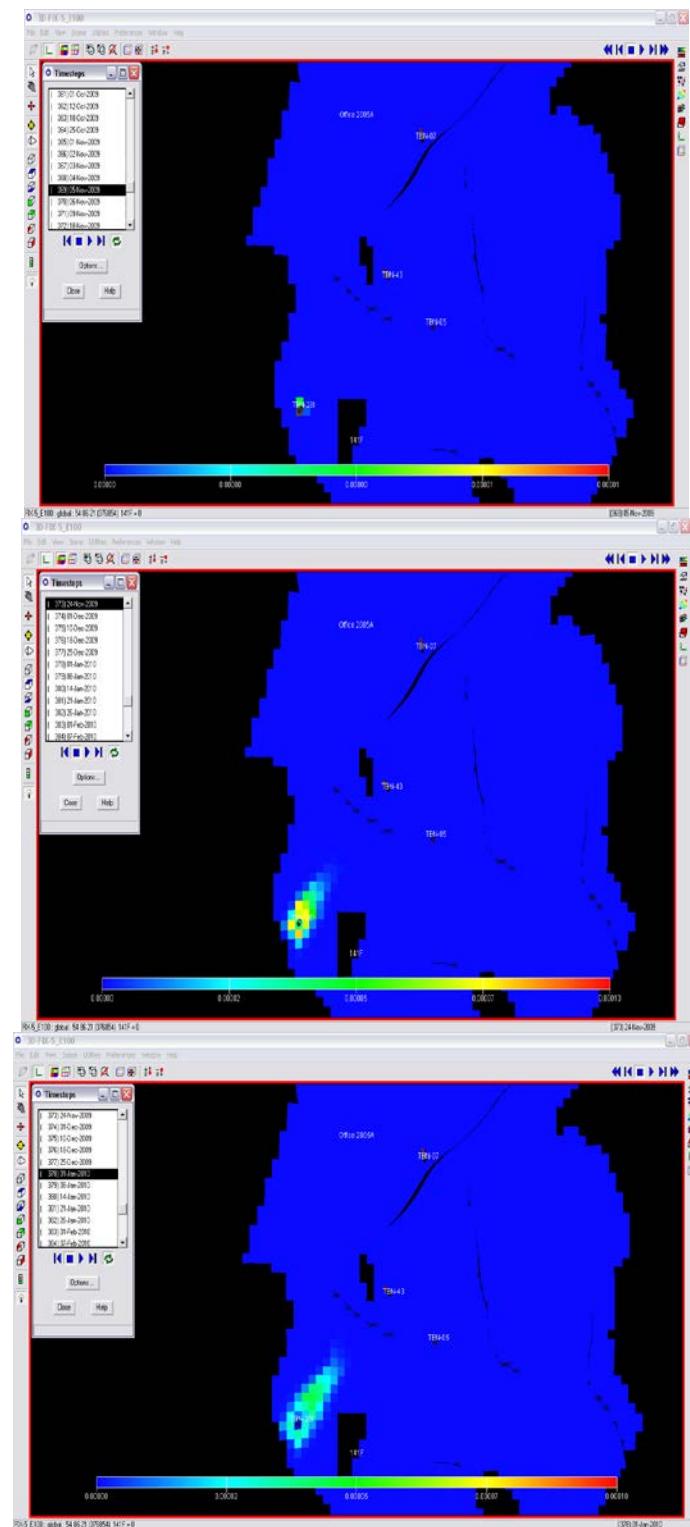
Gambar 4 Penampang Permeabilitas Model Reservoir

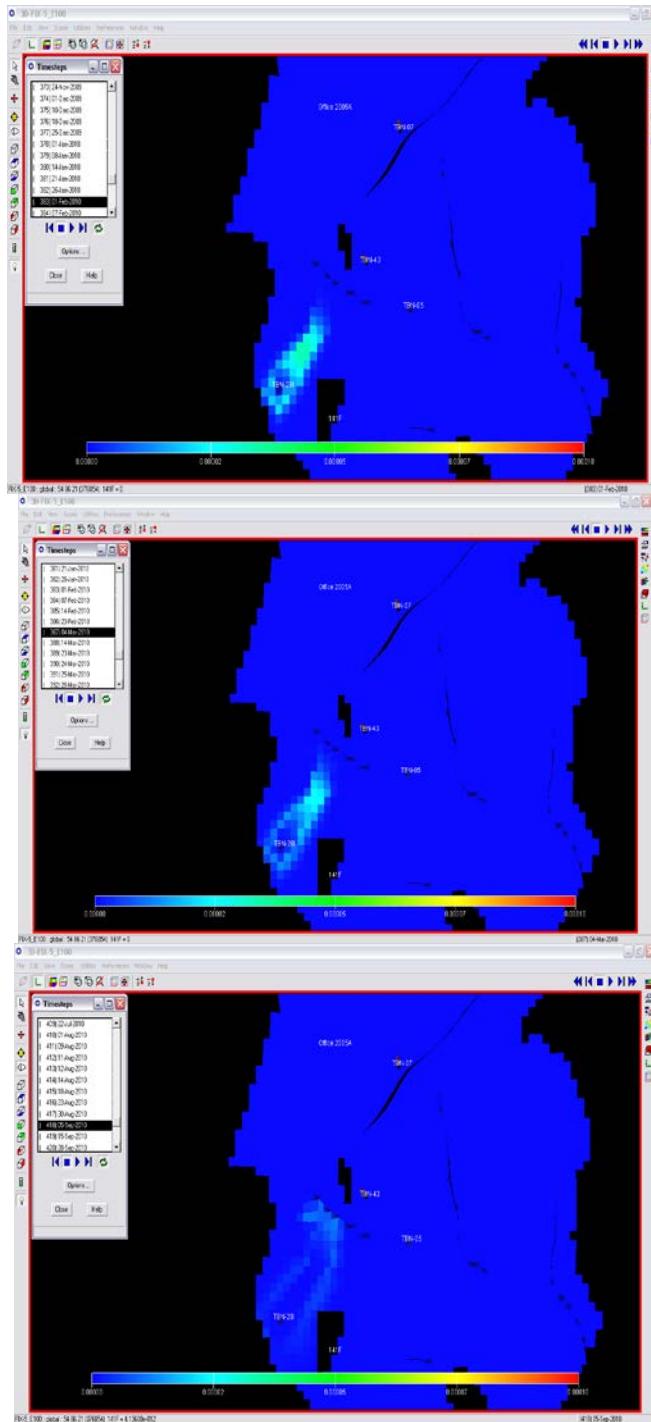


Gambar 5 Peta Penyebaran Arah Aliran Injeksi antara Sumur Injeksi dan Sumur Produksi



Gambar 6 Peta Penyebaran Fault





Gambar 7 Penyebaran Tracer 140c

Lampiran Tabel

Tabel 1 Properties Reservoir Lapangan X

Parameter	Jenis/Nilai
Lapisan	BRF
Litologi	Batugamping
Gross Rock Volume, Acre.Ft	627,886
Net To Gross	0.96
Estimate WOC, m	1828
Average Porositas, %	0.16
Permeability, mD	37 - 100
Swi, %	26
FVF Oil, rb/STB	1.68
Jenis fluida reservoir	Minyak
Initial/Current Res.Press. psia	2625/2100
Temperatur reservoir, °F	248

Tabel 2 Volume Tracer yang Diinjeksikan

No	Well Ref.	Tracer Type	Volume, kgs	Solution	Volume, liters
1	X-06i	190c	100	20%	500
2	X-19i	140a	150	20%	750
3	X-28i	140c	120	10%	1200

Tabel 3 Jadwal Penginjeksian Tracer

Date	Well Ref.	Tracer Type	Tracer Volume	Tracer Injection Duration
02/11/2009	X-19i	140a	750 L	11:20 - 23:30
03/11/2009	X-06i	190c	500 L	10:05 - 17:00
04/11/2009	X-28i	140c	1200 L	10:05 - 24:00

Tabel 4 Time Breakthrough Sumur

Sample Date	Well Ref.	Days After Inj.	140c	190c	140a
10/11/2009	X-24	6	ND		
12/11/2009	X-24	8	582		
17/11/2009	X-24	13	183		
24/11/2009	X-24	20	283		
01/12/2009	X-24	27	150		
08/12/2009	X-24	34	28		
14/12/2009	X-24	40	143		
21/12/2009	X-24	47	6		
28/12/2009	X-24	54	ND		
06/04/2010	X-18			2.5	
13/04/2010	X-18			3.7	
19/04/2010	X-18			8.9	
03/05/2010	X-18			19.5	
10/05/2010	X-18			34.5	
01/06/2010	X-18			62.2	
07/06/2010	X-18			83.4	
16/06/2010	X-18			94.9	
23/06/2010	X-18			97.8	
30/06/2010	X-18			175	
09/07/2010	X-18			177	
20/07/2010	X-18			68.1	
28/07/2010	X-18			72.8	
04/08/2010	X-18			76.5	
26/08/2010	X-18			94.5	
29/09/2010	X-18			108	
28/10/2010	X-18			110	
30/11/2010	X-18			121	
28/07/2010	X-07			3.7	
26/08/2010	X-07			7	
29/09/2010	X-07			10.7	
28/10/2010	X-07			12.8	
30/11/2010	X-07			16.7	
10/11/2010	X-26		1.5		
19/11/2010	X-26		2.3		
24/11/2010	X-26		2.3		
09/12/2010	X-26		4.4		
15/12/2010	X-26		5.6		
21/12/2010	X-26		7.7		
04/01/2011	X-26		11.6		

Tabel 5 Hasil Analisis Tracer di Lapangan

Sumur Injeksi	Sumur Pengamat	140a Tbt (days)	140c Tbt (days)	190c Tbt (days)
X-28i (140c)	X-05			
	X-14			
	X-17			
	X-24		8	
	X-25			
	X-26		330	
	X-29			
X-06i (190c)	X-33			
	X-05			
	X-07			270
	X-08			
	X-11			
	X-15			
	X-18			160
X-19i (140a)	X-21			
	X-02			
	X-03			
	X-04			
	X-12			
	X-23			

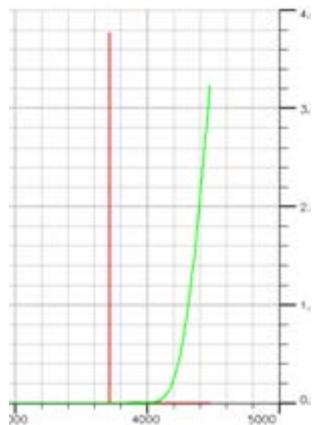
Tabel 6 Hasil Time Breakthrough Model Awal

Sumur Injeksi	Sumur Pengamat	140a Tbt (days)	140c Tbt (days)	190c Tbt (days)
X-28i (140c)	X-05			
	X-14			
	X-17			
	X-24		300	
	X-25			
	X-26		660	
	X-29			
	X-33			
X-06i (190c)	X-05			
	X-07			60
	X-08			
	X-11			
	X-15			
	X-18			170
	X-21			
X-19i (140a)	X-02			
	X-03			
	X-04			
	X-12			
	X-23			

Tabel 7 Hasil Data Time Breakthrough Model Akhir

Sumur Injeksi	Sumur Pengamat	140a Tbt (days)	140c Tbt (days)	190c Tbt (days)
X-28i (140c)	X-05			
	X-14			
	X-17			
	X-24		10	
	X-25			
	X-26		310	
	X-29			
	X-33			
X-06i (190c)	X-05			
	X-07			270
	X-08			
	X-11			
	X-15			
	X-18			160
	X-21			
X-19i (140a)	X-02			
	X-03			
	X-04			
	X-12			
	X-23			

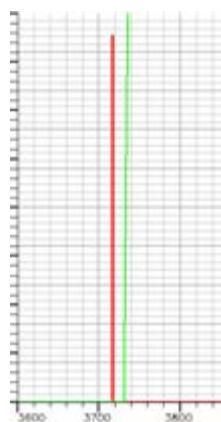
Lampiran Grafik



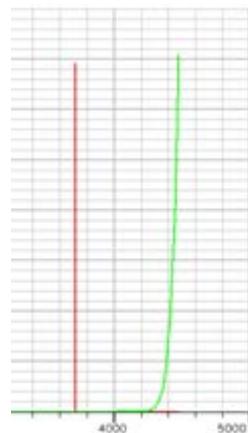
Gambar 1 Time Breakthrough X-24 Model Awal



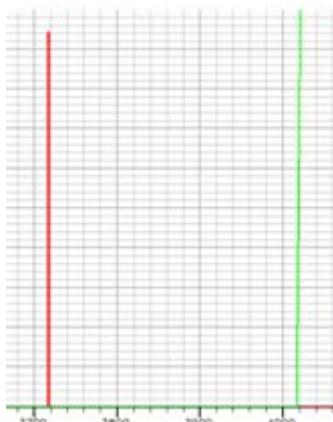
Gambar 3 Time Breakthrough X-26 Model Awal



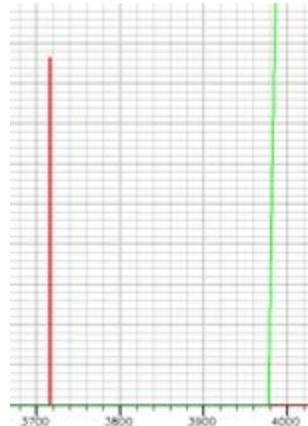
Gambar 2 Time Breakthrough X-24 Model Akhir



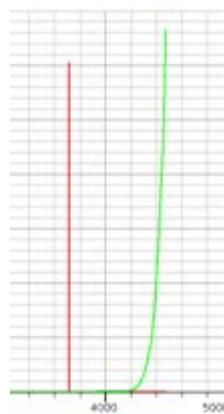
Gambar 5 Time Breakthrough X-07 Model Awal



Gambar 4 Time Breakthrough X-26 Model Akhir



Gambar 6 Time Breakthrough X-07 Model Akhir



Gambar 7 Time Breakthrough X-18 Model Awal



Gambar 8 Time Breakthrough X-18 Model Akhir