SCREENING CRITERIA DENGAN METODE INJEKSI CO_2-*WATER ALTERNATING GAS (WAG)*

TUGAS AKHIR

Diajukan guna melengkapi syarat dalam mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh

RAJA ULFA HIDAYAH

143210608

PROGRAM STUDI TEKNIK PERMINYAKAN

UNIVERSITAS ISLAM RIAU

PEKANBARU

2021

Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa tugas akhir ini merupakan karya saya sendiri dan semua sumber yang tercantum didalamnya baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar sesuai ketentuan. Jika terdapat unsur penipuan atau pemalsuan data maka saya bersedia dicabut gelar yang diperoleh.

Pekanbaru, 07 Desember 2021

Raja Ulfa Hidayah
NPM 143210608

Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :

KATA PENGANTAR

Rasa syukur disampaikan kepada Allah Subhanna wa Ta'ala karena atas rahmat dan limpahan ilmu dari-Nya, saya dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Penulisan tugas akhir ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Perminyakan, Universitas Islam Riau. Saya menyadari bahwa banyak pihak yang telah membantu dan mendorong saya untuk meyelesaikan tugas akhir ini serta memperoleh ilmu pengetahuan selama perkuliahan. Oleh karena itu, saya ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Fiki Hidayat, S.T., M.Eng selaku dosen pembimbing dan Richa Melyssa, S.T.,M.T selaku pembimbing akademik saya, yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk memberikan masukan dalam peyusunan tugas akhir ini.
2. Ketua dan sekretaris prodi serta dosen-dosen yang sangat banyak membantu terkait perkuliahan, ilmu pengetahuan dan hal lain yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu.
3. Orang tua Raja Abdillah dan Kamisah serta saudara Raja Nila Kurnia, S.Sos dan Raja Muhammad Akbar Asikin serta Adesthia Primandala atas segala doa dan kasih sayang, dukungan moril dan materil yang diberikan sampai penyelesaian tugas akhir.
4. Teman-teman jurusan Teknik Perminyakan UIR angkatan 2014, khususnya kelas E yang selalu memberikan dukungan dan semangat selama masa perkuliahan dan penelitian ini.

Teriring doa saya, semoga Allah memberikan balasan atas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga Skripsi ini membawa manfaat bagi pengembang ilmu pengetahuan.

Pekanbaru, 07 Desember 2021

Raja Ulfa Hidayah

Universitas Islam Riau

Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN ..... **ii**
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR ..... **iii**
KATA PENGANTAR ..... **iv**
DAFTAR ISI ..... **v**
DAFTAR GAMBAR ..... **vii**
DAFTAR TABEL ..... **viii**
DAFTAR LAMPIRAN ..... **ix**
DAFTAR SIMBOL ..... **x**
DAFTAR SINGKATAN ..... **xi**
ABSTRAK ..... **xii**
ABSTRACT ..... **xiii**
BAB 1 PENDAHULUAN **1**
1.1 LATAR BELAKANG 1
1.2 TUJUAN PENELITIAN 2
1.3 MANFAAT PENELITIAN 2
1.4 BATASAN MASALAH 2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA **4**
2.1 WATER ALTERNATING GAS (WAG) INJECTION 4
2.2 PARAMETER INJEKSI WATER ALTERNATING GAS 5
2.2.1 *Injection Rate* 5
2.2.2 WAG Rasio 6
2.2.3 WAG *cycle* 6
2.2.4 Permeabilitas 7
2.2.5 Porositas 7
2.2.6 Slug Size 7
2.3 PENELITIAN TERDAHULU 8

Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :

BAB III METODOLOGI PENELITIAN 9

3.1 METODOLOGI PENELITIAN 9

3.2 JENIS PENELITIAN 11

3.3 TEMPAT PENELITIAN 11

3.4 JADWAL PENELITIAN 11

3.5 KARAKTERISTIK FLUIDA 11

3.5.1 Fluida Reservoir 11

3.5.2 Reservoir Properties 13

3.6 PEMBUATAN MODEL SIMULASI 14

3.7 INISIALISASI 15

3.8 SOFTWARE MODDE 5 15

BAB IVHASIL DAN PEMBAHASAN 17

4.1 ANALISIS HASIL PEMODELAN EKSPERIMEN 18

4.2 ANALISIS PARAMETER DOMINAN PADA INJEKSI CO2 WAG *(WATER ALTERNATING GAS)* 22

4.3 ANALISIS PENGARUH PARAMETER UJI TERHADAP *RECOVERY FACTOR* MINYAK 25

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 31

5.1 KESIMPULAN 31

5.2 SARAN 31

DAFTAR PUSTAKA 32

Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Diagram Skematis dari Proses WAG 5

Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian 10
Gambar 3. 2 Grafik hubungan Kr vs Sw 13
Gambar 3. 3 Model Cartesian Grid 14
Gambar 3. 4 Lokasi Sumur 15

Gambar 4. 1 Diagram *Summary Plot* 18
Gambar 4. 2 Grafik Hubungan Data *observed* dan *predicted* 20
Gambar 4. 3 *Coefficient Plot* 23
Gambar 4. 4 Pengaruh parameter WAG *Ratio* terhadap RF 25
Gambar 4. 5 Pengaruh parameter porositas terhadap RF 26
Gambar 4. 6 Pengaruh parameter *Number Of Cycle* 27
Gambar 4. 7 Pengaruh parameter *slug size* terhadap RF 28
Gambar 4. 8 Pengaruh parameter *injection rate* terhadap RF 29
Gambar 4. 9 Pengaruh parameter permeabilitas terhadap RF 30

Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Jadwal Penelitian Tugas Akhir 11
Tabel 3.2 Komponen Hidrokarbon 12
Tabel 3.3 *Reservoir Properties* 14
Tabel 3.4 Model *Properties* 14
Tabel 3.5 Hasil Inisialisasi Model 15
Tabel 3.6 Data Masing-masing Parameter 15
Tabel 4.1 Desain Eksperimen dan Hasil *Run* RF pada Simulator CMG 17
Tabel 4.2 Tabel ANOVA *(Analysis Of Variance)* 19
Tabel 4.3 Hasil data observasi dan prediksi pada *software modde* 5 21
Tabel 4.4 *Coefficient* list tiap parameter 22
Tabel 4.5 *Main effect* masing-masing parameter 24

Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Gambar grafik hubungan Kr vs Sw 35

Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :

DAFTAR SIMBOL

A	Luas, *acre*
α	Alfa (*significant level*), fraksi
Kr	Permeabilitas Relatif, D
K	Permeabilitas, mD
Sw	Saturasi Air,
Φ	Porositas, %
d	Ketebalan, ft
h	Kedalaman, ft
P	*Probability, %*

Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :

DAFTAR SINGKATAN

CMG	*Computer Modelling Group*
DOE	*Design Of Experiment*
EOR	*Enhanced Oil Recovery*
FFD	*Fractional Factorial Design*
Ft	*Feet*
PV	*PoreVolume*
IOIP	*Initial Oil In Place*
RF	*Recovery Factor*
WAG	Water Alternating Gas
Bbl	Barrel

Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :

SCREENING CRITERIA DENGAN METODE INJEKSI CO2 - *WATER ALTERNATING GAS* (WAG)

RAJA ULFA HIDAYAH
143210608

ABSTRAK

Injeksi CO_2-WAG mampu meningkatkan efisiensi dalam peningkatan perolehan minyak. Hal ini terbukti dengan semakin banyaknya reservoir diseluruh dunia yang menggunakan metode injeksi *Water Alternating Gas (WAG)*. Keberhasilan dari *screening criteria* metode *Water Alternating Gas (WAG*) dapat ditentukan dengan menginvestigasi parameter paling dominan dalam meningkatkan *recovery factor* (RF). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui parameter yang paling berperan terhadap *recovery factor*.

Penelitian ini menggunakan *numerical simulator CMG GEM* untuk pemodelan *reservoir*. Metode *fractional factorial design* digunakan untuk memeriksa reaktifitas dari tiap-tiap parameter injeksi WAG. Pemodelan reservoir dengan meggunakan *cartesian grid* dan enam parameter yang diuji yaitu , pada rancangan *fractional factorial design* dengan jumlah *runn* yaitu 16 *runn*.

Parameter paling dominan yang dapat meningkatkan nilai *recovery factor* minyak dalam injeksi *Water Alternating Gas* (WAG) adalah WAG Rasio dengan nilai P terkecil 2,90405 x 10^{-5} dan *coefficient* terbesar dengan nilai Negatif sebesar -3,12431. Parameter dominan yang kedua yaitu Porositas dengan nilai parameter 0,05 – 0,1 % dengan nilai P 0,000769113 dan *coefficient* sebesar -2,00865. *Number Of Cycle* dengan nilai P 0,000827045 dan *coefficient* sebesar 1,98728 dalam rentang 2-3 *cycle*. Sementara untuk *Slug Size, Injection Rate* dan permeabilitas merupakan parameter yang tidak signifikan dalam penelitian ini berdasarkan *confidence level* sebesar 95%.

Kata Kunci: EOR,*Screening Criteria, WAG,oil recovery*,reservoir

Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :

SCREENING CRITERIA USING CO2 INJECTION METHOD - WATER ALTERNATING GAS (WAG)

RAJA ULFA HIDAYAH
143210608

ABSTRACT

CO2-WAG injection is able to increase efficiency in increasing oil recovery. This is proven by the increasing number of reservoirs around the world that use the Water Alternating Gas (WAG) injection method. The success of the screening criteria for the Water Alternating Gas (WAG) method can be determined by investigating the most dominant parameter in increasing the recovery factor (RF). This study aims to determine the parameters that have the most role in the recovery factor.

This study uses a numerical simulator CMG GEM for reservoir modeling. Fractional factorial design method was used to check the reactivity of each WAG injection parameter. Reservoir modeling using a Cartesian grid and six parameters were tested, namely, the fractional factorial design with 16 runns.

The most dominant parameter that can increase the value of the oil recovery factor in Water Alternating Gas (WAG) injection is the WAG Ratio with the smallest P value 2,90405 x 10-5 and the largest coefficient with a negative value of -3.12431. The second dominant parameter is porosity with a parameter value of 0.05 – 0.1% with a P value of 0.000769113 and a coefficient of -2.00865. Number Of Cycle with a P value of 0.000827045 and a coefficient of 1.98728 in the range of 2-3 cycles. Meanwhile, Slug Size, Injection Rate and permeability are not significant parameters in this study based on a 95% confidence level.

Keywords: EOR, Screening Criteria, WAG, oil recovery, reservoir

Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :

BAB 1
PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Angka konsumsi minyak Indonesia semakin jauh jaraknya dengan angka produksi minyak bumi. Kebutuhan minyak pada 2015 tercatat sebesar 1,5 juta barel minyak per hari (bopd). Pada 2016 kebutuhan minyak meningkat menjadi 1,6 juta bopd, dan pada 2017 melonjak menjadi 1,7 juta bopd. Pada masa mendatang kebutuhan minyak bumi akan semakin banyak (Migas, 2019). Salah satu faktor yang menyebabkan penurunan produksi minyak di Indonesia saat ini adalah umur lapangan yang sudah tua (*mature fields*). Jika hal ini terus berlangsung tanpa ada usaha lain maka lapangan-lapangan yang sudah tua tersebut menjadi tidak ekonomis untuk terus diproduksikan (Muslim, Abdurrahman, & Permadi, 2016).

Dalam keadaan demikian, metode *enhanced oil recovery* (EOR) dapat diterapkan untuk meningkatkan perolehan minyak dari reservoir yang tidak menunjukkan penambahan produksi walaupun telah digunakan injeksi air atau injeksi gas (W.S, 2015). Salah satu metode EOR yang dapat meningkatkan perolehan minyak adalah injeksi CO_2-*Water Alternating Gas* (WAG) hal ini dibuktikan dengan semakin banyaknya *reservoir* diseluruh dunia yang menggunakan metode injeksi *Water Alternating Gas* (WAG) (Arogundade, Shahverdi, & Sohrabi, 2013). Proses WAG ditemukan lebih efektif dari pada injeksi gas atau injeksi air saja. Proses WAG meningkatkan perpindahan mikroskopis dengan injeksi gas dan efisiensi penyapuan makroskopis dengan injeksi air (Hamdi, 2014).

Injeksi WAG merupakan proses *tertiary oil recovery* yang telah berkembang sejak tahun 1950-an (Esmaiel *et al*., 2005). Dalam prosesnya, beberapa parameter berikut dapat mengoptimalkan injeksi WAG seperti *injection rate, slug size, number of cycle*, *WAG* rasio, permeabilitas, porositas. Pada penelitian tugas akhir ini menggunakan metodologi *screening analysis* yang diterapkan untuk memilih proses yang layak pada sekumpulan kondisi atau untuk

Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :

menentukan parameter dominan dalam mekanisme tertentu (Khoy, Moradi, Zargar, & Ganjeh, 2019).

1.2 TUJUAN PENELITIAN

Adapun tujuan dari penelitian Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

Penelitian ini menggunakan desain faktorial fraksional untuk menentukan parameter utama yang dapat meningkatkan faktor perolehan minyak yang dalam banyak penelitian hal ini biasa digunakan dalam bidang statistik. Desain Faktorial Fraksional (FFD) digunakan sebagai Desain Eksperimen (DOE) dalam pekerjaan ini, dan FFD akan digunakan untuk menyelidiki reaktivitas dari masing-masing parameter operasi yang paling penting.

1.3 MANFAAT PENELITIAN

Berdasarkan penelitian yang akan dilakukan dapat memberikan berbagai manfaat diantaranya yaitu :

1. Memberikan acuan yang dapat diterapkan di Indonesia untuk melakukan Injeksi *CO_2-WAG* dengan karakteristik lapangan yang sesuai parameter *Screening EOR* injeksi *CO_2* untuk meningkatkan perolehan minyak (*Recovery Factor*).
2. Menjadikan publikasi ilmiah dalam bentuk jurnal atau *paper* yang bersekala nasional maupun internasional sehingga dapat menjadi referensi dalam penelitian selanjutnya.

1.4 BATASAN MASALAH

Adapun batasan masalah yang diberikan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Model reservoir memiliki penyebaran karakteristik homogen dengan pola sumur *direct line.*
2. Analisis hasil penelitian dari parameter yang berpengaruh terhadap metode injeksi *water alternating gas* (*WAG*) seperti *injection rate*, *slug size*, *number of cycle*, *WAG* rasio, permeabilitas, porositas.

Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :

3. Analisis hasil penelitian dilakukan tanpa adanya pertimbangan ekonomis.

Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Mengenai sumber daya alam Rasulullah SAW bersabda: “kaum muslimin berserikat (memiliki hak yang sama) dalam tiga hal: air, rumput, dan api (HR ibnu majah). Menurut aturan islam, kekayaan alam dengan kandungan yang cukup besar adalah bagian dari kepemilikan umum seperti batubara, emas, perak, besi, tembaga, timah, minyak bumi, gas dan sebagainya.

Kepemilikan umum ini wajib dikelola oleh negara hasilnya diserahkan untuk kesejahteraan rakyat. Seperti firman Allah SWT pada QS Al Isra: “Dan maka sudah sepantasnya lah kita bersyukur atas apa yang telah Allah SWT ciptakan yang semata-mata adalah untuk kita manfaatkan, karena Allah telah berjanji barang siapa yang mensyukuri nikmat Nya maka akan ditambah tapi apabila kufur maka akan mendapat siksa yang amat pedih”. Oleh karena itu, mari kita bersegera menjalankan semua ketentuan Allah SWT dan Rasul-Nya dengan cara melaksanakan dan menerapkan seluruh syariat islam.

2.1 WATER ALTERNATING GAS (WAG) INJECTION

Salah satu metode tahap lanjut *Enhanced Oil Recovery* (EOR) yang sudah terbukti dapat meningkatkan produksi minyak adalah injeksi gas. Injeksi gas adalah metode yang digunakan pada formasi rekah alami dan formasi rekahan hidraulik (Jabbari, Ostadhassan, Rabeie, & Dakota, 2015). Teknik injeksi gas terdiri dari beberapa bentuk yaitu injeksi gas hidrokarbon (termasuk gas alam, gas alam yang telah diperkaya, dan gas alam yang digunakan untuk mendorong minyak bumi dan injeksi non hidrokarbon (seperti karbon dioksida, nitrogen, dan *flue gas*) yang digunakan untuk mengurangi saturasi minyak residu (Azimi, n.d.)

Proses WAG adalah kombinasi dari dua teknik tradisional, yaitu injeksi air dan injeksi gas. Dengan menggunakan injeksi air guna mengontrol mobilitas gas, WAG mampu meningkatkan efisiensi dari injeksi gas dalam peningkatan perolehan minyak (Nuryaningsih, Jiang, & Adidharma, 2010). Hal ini terbukti

Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :

dengan semakin banyaknya reservoir diseluruh dunia yang menggunakan metode injeksi *Water Alternating Gas* (WAG) (Arogundade et al., 2013).

Injeksi WAG pertama yang dilakukan di ladang minyak Pembina Utara di Alberta, Kanada pada tahun 1957 (A, Churchill, S, & Tope, 2017). Injeksi WAG meliputi proses injeksi yang berulang dan berselang antara gas dan air.

Gambar 2. 1 Diagram Skematis dari Proses WAG (Gbadamosi, Kiwalabye, Junin, & Augustine, 2018)

2.2 PARAMETER INJEKSI WATER ALTERNATING GAS

Berikut ini terdapat beberapa parameter operasi yang dapat mempengaruhi *perfomance* dari *Water Alternating Gas* (WAG). Parameter tersebut adalah sebagai berikut :

2.2.1 *Injection Rate*

Parameter operasi yang mempengaruhi *performance* dari *Water Alternating Gas* pada penelitian Tugas Akhir ini yaitu laju injeksi, laju injeksi menghasilkan penambahan perolehan minyak ketika injeksi WAG dilakukan pada batuan yang *water wet*. Studi oleh (Khurshid & Choe, 2013) yang menyatakan bahwa peningkatan laju injeksi akan menghasilkan perolehan minyak yang lebih tinggi dan adanya batas optimum untuk besaran laju injeksi CO_2 yang diberikan. Pada metode WAG, semakin tinggi laju injeksi maka fluida injeksi akan semakin cepat mendorong minyak menuju produser sehingga tidak semua area yang terlewati

Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :

dapat dijangkau. Maka semakin cepat laju injeksi akan semakin besar pula kemungkinan untuk mengalami *water breaktrough* dan hanya efektif untuk periode produksi jangka pendek, namun untuk produksi jangka panjang injeksi yang tidak terlalu tinggi dapat memberikan hasil *recovery* yang lebih baik.

2.2.2 WAG Rasio

Parameter operasi yang mempengaruhi *performance* dari WAG selanjutnya yaitu adalah parameter WAG Rasio. Rasio WAG adalah perbandingan antara jumlah air dengan jumlah *solvent* yang diinjeksikan, keduanya dinyatakan dalam satuan volume *reservoir* (juanes & blunt.,2016). Dalam penentuan WAG Rasio, penting sekali untuk menjaga jumlah air dan gas yang diinjeksikan karena jika jumlah injeksi air yang terlalu banyak dibandingkan gas dapat menyebabkan kemungkinan penurunan *microscopic efficiency*, sedangkan jika injeksi gas yang dilakukan terlalu banyak maka akan berdampak pada keadaan sweep efficiency yang lemah (Ain, Mohd, Yunan, Sagala, & Katende, 2017). Penentuan skenario injeksi pada penelitian ini mengacu pada beberapa studi terdahulu. Pada penelitian ini dilakukan skenario injeksi dengan rasio yang umum digunakan yaitu 1:2 dan 2:1 (Zekri, Nasr, & AlShobakyh, 2011).

2.2.3 WAG *cycle*

Kemudian parameter selanjutnya yaitu WAG *cycle*, WAG *cycle* sangat mempengaruhi *performance* dari WAG dikarenakan apabila air yang diinjeksikan terlalu sedikit maka kecepatan gas CO_2 menjadi lebih besar, kemudian akan terbentuk *solvent bank*. Akibatnya, akan menghasilkan rasio mobilitas yang tidak diinginkan pada antar muka *solvent* atau minyak sehingga terbentuk fingering dari *solvent* ke *oil bank* yang mana akan mengurangi effisiensi proses. Sebaliknya, bila terlalu banyak air yang diinjeksikan maka air akan bergerak lebih cepat dari *solvent* sehingga menghasilkan saturasi air yang tinggi pada antarmuka *solvent* atau minyak. Kemudian kemungkinan terjebaknya minyak akan meningkatkan tingginya saturasi air. Pemilihan periode waktu siklus injeksi pada penelitian tugas akhir ini juga mengacu pada penelitian sebelumnya. Simulasi injeksi tersebut terdiri dari 2 siklus dan 3 siklus. Setiap siklus waktu terdiri dari dua

Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :

bagian, bagian pertama dengan injeksi gas dan bagian kedua dengan injeksi air. Pengaturan siklus WAG pada simulator dilakukan dengan pergantian jenis fluida injeksi untuk setiap siklus selama periode simulasi. Pada saat air diinjeksikan, maka injeksi gas *shut-in*, sebaliknya pada saat injeksi gas berlangsung maka injeksi air *shut-in* (Inaloo & Jafari, 2014).

2.2.4 Permeabilitas

Kemudian parameter selanjutnya yaitu Permeabilitas, batuan *reservoir* harus memiliki kemampuan untuk memungkinkan fluida minyak mengalir melalui pori-pori yang saling berhubungan, sedangkan batuan yang tidak berpori menunjukkan bahwa ia tidak memiliki permeabilitas yang baik. Pada proses WAG jika permeabilitas sangat tinggi dapat meyebabkan rekahan pada *resevoir* sehingga fluida yang diinjeksikan dapat menghasilkan rekahan (Skauge & Age Stensen, 2014).

2.2.5 Porositas

Parameter operasi yang mempengaruhi *performance* dari WAG selanjutnya yaitu adalah parameter porositas, porositas merupakan parameter yang berpengaruh pada proses WAG karena besaran ini dapat memberikan gambaran mengenai jumlah fluida yang terperangkap dalam pori batuan reservoir.

2.2.6 Slug Size

Slug size merupakan parameter yang sangat penting dalam perencanaan injeksi CO_2. Parameter ini menggambarkan total volume CO_2 yang diinjeksikan ke dalam *reservoir*. Total *slug size* umumnya didasarkan pada jumlah total *pore volume* (*PV*) pada reservoir target. Variasi harga PV ini bertujuan untuk melihat pengaruh parameter *slug size* terhadap perolehan minyak (*Recovery Factor*) (Sarvak, Rumaitha, & Snyder, 2021).

Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :

2.3 PENELITIAN TERDAHULU

Penelitian terdahulu telah dilakukan oleh Muhamad Isa (2020) yang melakukan penelitian studi penentuan rasio injeksi optimum dalam simulasi injeksi *Water Alternating Gas* dengan menggunakan masing-masing sensitivitas variasi laju injeksi, siklus injeksi dan rasio injeksi. Skenario injeksi WAG dalam studi sensitivitas ini menetukan rasio injeksi optimum dengan perolehan total produksi minyak yang paling besar yaitu sebesar 88,47 MMSTB dan *recovery factor* sebesar 62,13%. Injeksi WAG terbukti dapat meningkatkan *sweep efficiency* lebih besar dari pada *waterflooding* karena adanya tambahan bantuan dari injeksi gas yang mampu mendorong minyak sehingga meningkatkan *microscopic diplacement* maka *volumetric sweep efficiency* pun bertambah.

Penelitian berikutnya telah dilakukan oleh Merchant & Consulting (2017) dimana terdapat beberapa perbedaan pada parameter apa saja yang dapat mempengaruhi pemilihan injeksi CO_2 konvensional dibandingkan dengan proses injeksi CO_2 WAG, dimana ia menyebutkan beberapa parameter seperti geologi *reservoir* dan konfigurasi pola sumur dapat mempengaruhi proses *recovery*. Sebagai contoh pada kasus metode konvensional CO_2 yang telah dilakukan di Texas yang memiliki kecenderungan formasi yang datar, peremeabilitas yang kecil dan juga terdapat pengembangan lapangan dengan menggunakan pola *pattern* yang beragam. Sementara pada metode injeksi WAG konvensional, operasi yang dilakukan biasanya bertujuan untuk pengontrolan mobilitas sehingga dapat dilihat efek pada respon aliran injeksi CO_2, mobilitas penting untuk dipertimbangkan karena dengan menggunakan metode WAG jumlah CO2 yang digunakan bisa diminimalisir.

Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :

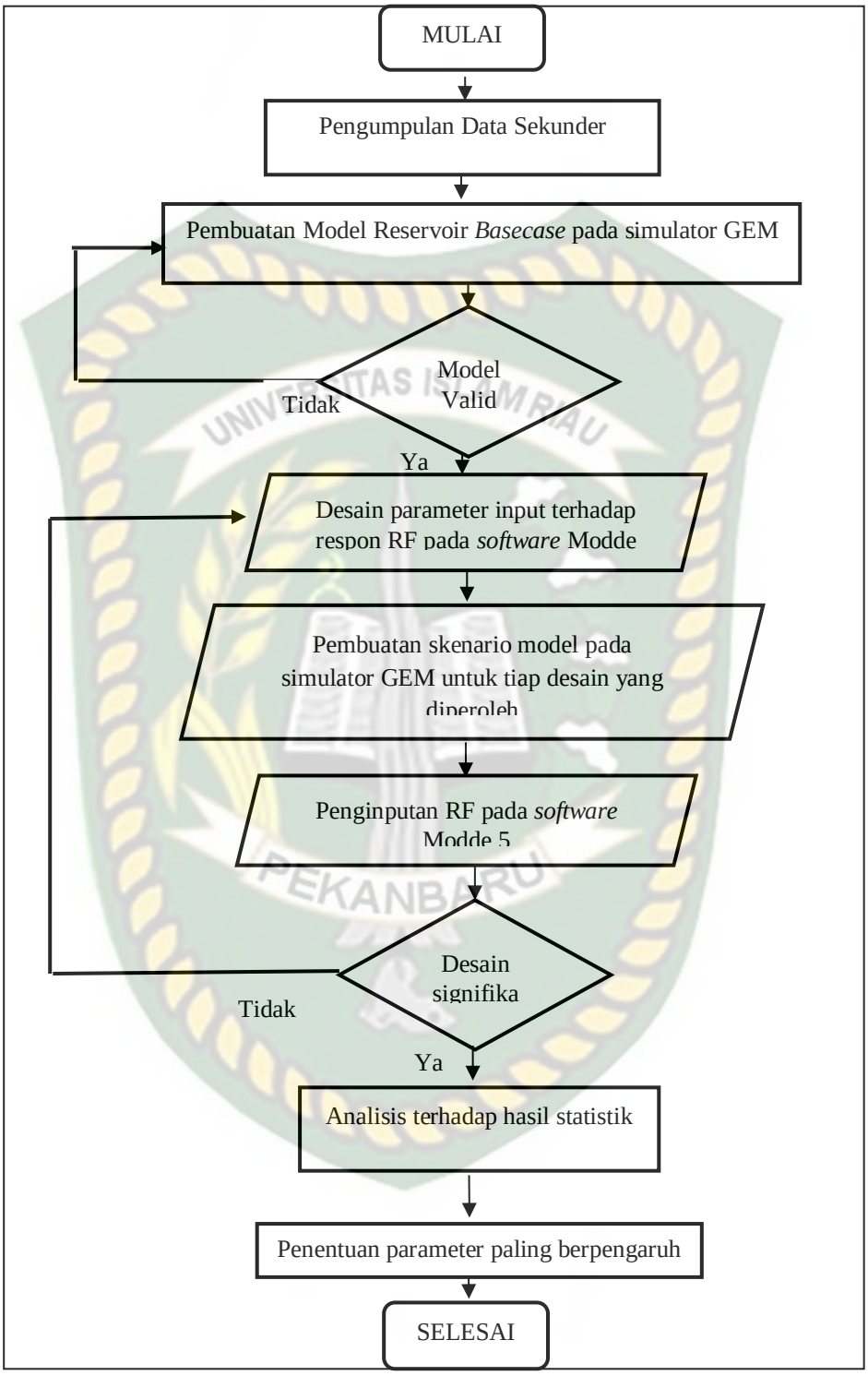
BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian Tugas Akhir ini berjudul "*Screening Criteria* Dengan Metode *Water Alternating Gas*" Adapun metode penelitian yaitu *simulation research* dengan menggunakan data dari suatu lapangan. Penelitian ini menggunakan kombinasi dari desain eksperimen dan simulasi reservoir. Data sekunder yang dikumpulkan dari hasil penelitian, buku referensi, jurnal dan artikel yang relevan dengan topik penelitian digunakan untuk pendekatan pengumpulan data.

Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :

3.2 JENIS PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan kombinasi dari desain eksperimen dan simulasi reservoir. Data yang mendukung dalam melakukan penelitian ini adalah studi literatur dari review paper, jurnal, dan makalah terkait dengan objek penelitian untuk mendapatkan konsep dan data-data yang relevan dengan permasalahan yang dikaji sebagai penunjang penelitian yang akan digunakan untuk pemodelan dengan simulator CMG GEM yang kemudian hasilnya akan dianalisis dengan *software* analisis statistik *Modde* 5.

3.3 TEMPAT PENELITIAN

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini, penulis melakukan penelitian di Laboratorium Simulasi Reservoir, Fakultas Teknik Perminyakan, Universitas Islam Riau.

3.4 JADWAL PENELITIAN

Tabel 0.1 Jadwal Penelitian Tugas Akhir

Kegiatan	2020	2021							
	12	1	2	3	4	5	6	7	8
Pengumpulan Literatur									
Pembuatan Model									
Pengujian Skenario									
Hasil dan Pembahasan									

3.5 KARAKTERISTIK FLUIDA

3.5.1 Fluida Reservoir

Tabel 3.2 meujukkan komponen hidrokarbon yag digunakan dalam pemodelan ini. Dapat dilihat pada tabel, komponen fluida penyusun minyak terbesar adalah C07-C09 dengan nilai sekitar 35%, metana (CH_4) terkandung sekitar 20%, dan C10-C15+ sebanyak 31%. Sedangkan komponen yang paling

Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :

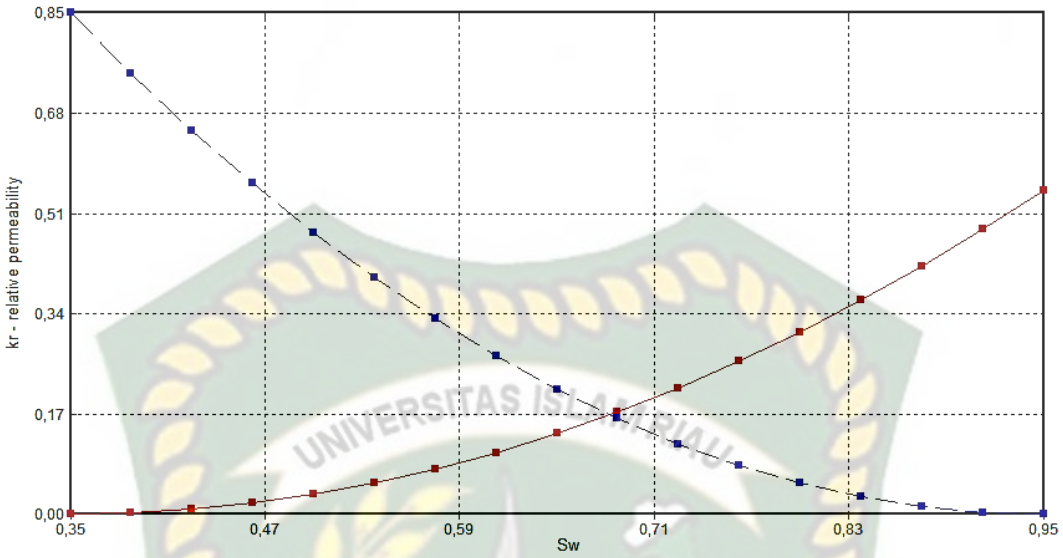
sedikit jumlahnya dalam minyak ini adalah Nitrogen, yaitu hanya senilai 0.01% saja.

Tabel 0.2 Komponen Hidrokarbon

No	*Component*	*Mol Percent*
1	CO_2	0.29
2	CH_4	19.66
3	C_2H_6	3.07
4	N_2	0.01
5	C_3H_8	3.33
6	IC_4	1.32
7	NC_4	2.02
8	IC_5	1.56
9	NC_5	1.15
10	NC_6	1.63
11	C07-C09	34.554862
12	C10-C11	14.994047
13	C12-C14	10.211792
14	C15+	6.1992985

***Sumber**:* (Muslim & Permadi, 2016)

Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :



Gambar 3. 2 Grafik hubungan Kr vs Sw

Gambar 3.2 merupakan plot antara permeabilitas relatif air (k_{rw}) dan permeabilitas relatif minyak (k_{ro}) terhadap saturasi air (s_w) pada batuan reservoir di lapangan ini. Berdasarkan titik potong antara kedua plot tersebut, dapat diketahui sistem wettabilitas batuan reservoir pada pemodelan ini. Nilai permeabilitas relatif minyak sebesar 0.88 diperoleh pada saat saturasi *water connate* 34%. Sementara itu, pada kondisi saturasi minyak tersisa (*residual oil saturation*) 32%, diperoleh permeabilitas relatif air (krw) senilai 0.20. Titik perpotongan antara plot imbibisi dan *drainage* berada pada nilai saturasi air (Sw) 0.69. Nilai sw yang lebih besar dari 0.5 menunjukkan bahwa reservoir ini memiliki sistem *water wet.*

3.5.2 Reservoir Properties

Batuan reservoir pada pemodelan ini merupakan jenis batu pasir yang memiliki kompresibilitas senilai 5.00 E-06 1/psi. Saturasi minyak inisial batuan ini adalah 0.65. karena model yang digunakan bersifat homogen, maka permeabilitas vertikal dan permeabilitas horizontal memiliki nilai yang sama, yaitu sebesar 112 md. Batuan pada lapangan ini memiliki porositas yang tergolong baik, yaitu 0,16.

Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :

Tabel 0.3 *Reservoir Properties*

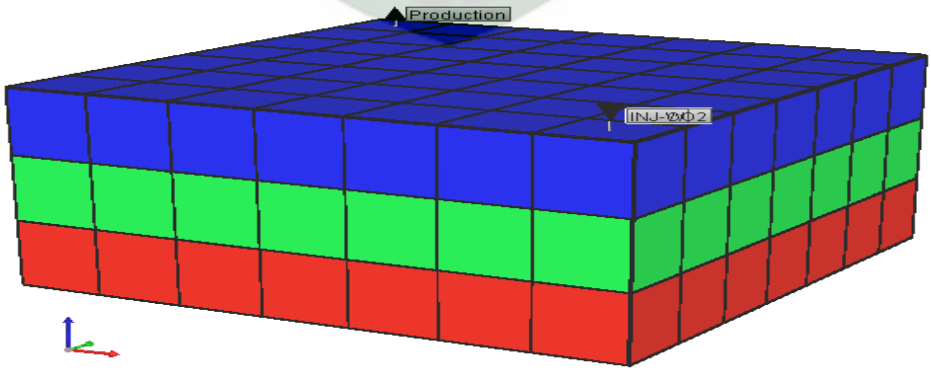
Parameter	Nilai	Satuan
Permeabilitas (K)	112	Md
Porositas (%)	0.16	%
Ketebalan (ft)	10	ft
Kedalaman (ft)	3045	ft

3.6 PEMBUATAN MODEL SIMULASI

Pada penelitian ini, dilakukan simulasi terhadap sebuah model reservoir *black oil*. Model yang dipakai merupakan model geometri linear homogen dengan 3 lapisan yang tersusun atas grid *cartesian* dengan jumlah blok grid 147 (7x7x3) dengan ketebalan setiap lapisan 10 ft. Adapun karakteristik formasi reservoir yang dipakai pada lapangan yang dipakai pada model tersebut ditampilkan pada gambar 3.3 dan 3.4.

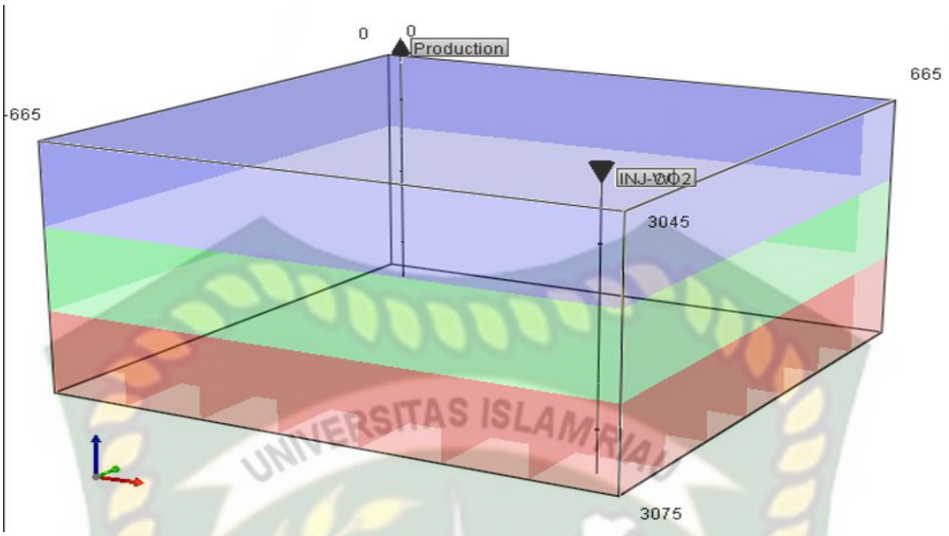
Tabel 0.4 Model *Properties*

Model *Properties*	Nilai
Grid Tipe	Cartesian
Number of Grid	7x7x3
Ketebalan *Grid*	10 ft
Layer	3



Gambar 3. 3 Model Cartesian Grid

Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :



Gambar 3. 4 Lokasi Sumur

3.7 INISIALISASI

Setelah melakukan *run* simulasi, berikut hasil inisialisasi model lapangan yag tertera pada tabel 3.5.

Tabel 0.5 Hasil Inisialisasi Model

No	Parameter	Satuan	Nilai
1	*Total Bulk Reservoir Volume*	ft^3	1,33628 X 10^7
2	*Total Pore Volume*	ft^3	2,09383 X 10^6
3	*Total Hydrocarbon pore volume*	ft^3	1,36099 X 10^6
4	*Original Oil in Place, OOIP*	bbl	2,00836 X 10^5
5	*Original Gas in Place, OGIP*	ft^3	6,37763 X 10^7

3.8 SOFTWARE MODDE 5

Modde 5 merupakan metode *screening*, yang digunakan sebagai cara utama untuk menganalisis enam parameter yang telah dipilih untuk menemukan parameter signifikan yang dapat meningkatkan nilai faktor perolehan minyak. *The Design Of Experiment* (DOE) adalah desain ekperimental yang meneliti efek dari berbagai kondisi pada respon. Metode yang paling sering digunakan dalam desain

Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :

eksperimen adalah desain faktorial fraksional, yang digunakan untuk menghasilkan banyak skenario yang akan dijalankan oleh simulator CMG, dengan hasil berupa faktor pemulihan yang diperiksa oleh perangkat lunak analisis statistik Modde 5. Rancangan percobaan yang diwakili oleh 2^{k-p} adalah rancangan fakorial pecahan dengan dua tingkat (memiliki tingkat nilai maksimum dan minimum). Tabel 3.6 memiliki data untuk setiap parameter.

Tabel 0.6 Data Masing-masing Parameter

Name	***Abbreviation***	***Units***	***Type***	***Use***	***Settings***
Injection Rate	Inj	Bbl per Day	*Quantitative*	*Controlled*	800 to 1500
Slug size	Slu	PV	*Quantitative*	*Controlled*	1 to 1.2
Number Of Cycle	Num	Cycle	*Quantitative*	*Controlled*	2 to 3
WAG *Ratio*	Wag		*Quantitative*	*Controlled*	1:2 to 2:1
Permeabilitas	Per	miliDarcy	*Quantitative*	*Controlled*	800 to 3000
Porositas	por	percent	*Quantitative*	*Controlled*	0.05 to 0.1

Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Simulasi yang dilakukan dalam desain faktorial ini digunakan untuk menentukan parameter mana yang akan diuji yang berpotensi mempengaruhi respons. Pada simulasi ini digunakan resolusi desain faktorial pecahan IV dan menjadi rekomendasi pertama pada *software Modde* 5 yang dilambangkan dengan notasi 2^{6-2} dan jumlah *run* sebanyak 16 *run*.

Tabel 0.1 Desain Eksperimen dan Hasil *Run* RF pada Simulator CMG

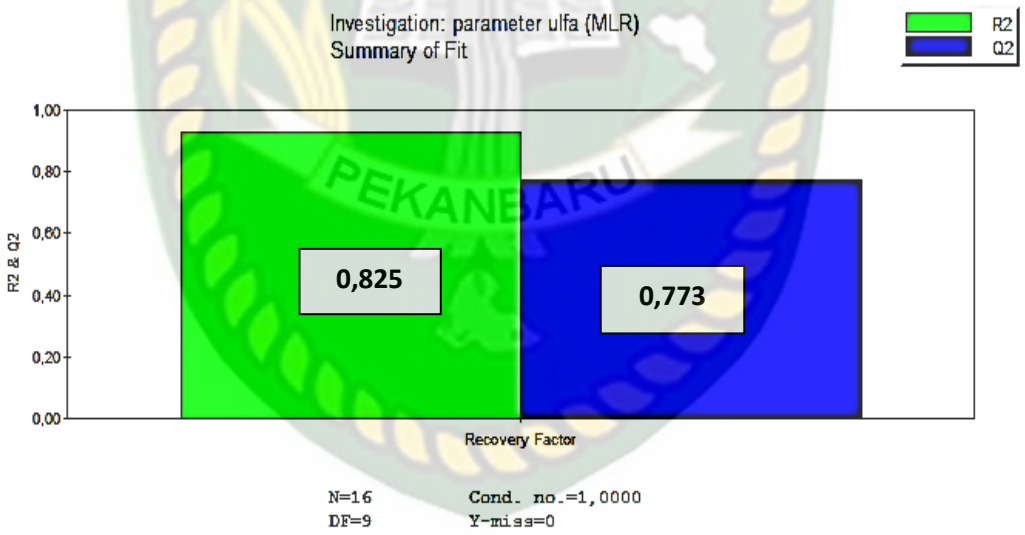
Exp Num	*Injection Rate (Bbl/day)*	*Slug Size (PV)*	*Number Of Cycle (Cycle)*	*WAG Ratio*	*Permeabilitas (miliDarcy)*	*Porositas (%)*	*RF (%)*
1	800	0,05	2	1:2	800	0,05	38,3646
2	1500	0,05	2	1:2	3000	0,05	36,0019
3	800	0,1	2	1:2	3000	0,1	36,593
4	1500	0,1	2	1:2	800	0,1	35,388
5	800	0,05	3	1:2	3000	0,1	36,4346
6	1500	0,05	3	1:2	800	0,1	36,162
7	800	0,1	3	1:2	800	0,05	42,2111
8	1500	0,1	3	1:2	3000	0,05	41,3519
9	800	0,05	2	2:1	800	0,1	24,6407
10	1500	0,05	2	2:1	3000	0,1	25,7505
11	800	0,1	2	2:1	3000	0,05	33,6654
12	1500	0,1	2	2:1	800	0,05	31,2103
13	800	0,05	3	2:1	3000	0,05	33,7832
14	1500	0,05	3	2:1	800	0,05	36,9934
15	800	0,1	3	2:1	800	0,1	34,0728
16	1500	0,1	3	2:1	3000	0,1	32,4018

Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :

Prosedur penginputan nilai minimum dan maksimum setiap parameter telah selesai, menghasilkan tabel eksperimen yang ditampilkan pada tabel 4.1, yang memiliki 16 run. Kemudian, sebagai tanggapan terhadap enam parameter yang diperiksa, nilai faktor perolehan minyak yang diterima dari simulator CMG dimasukkan ke dalam tabel eksperimen.

4.1 ANALISIS HASIL PEMODELAN EKSPERIMEN

Software Modde 5 digunakan untuk *screening* parameter paling dominan yang dapat meningkatkan *recovery factor* minyak pada injeksi CO_2-EOR dengan metode *immiscible water alternating gas* (WAG) di sumur *light oil*. Diagram *summary plot* yang ditunjukkan pada gambar 4.1 memperlihatkan grafik nilai R^2 dan Q^2. R^2 adalah fraksi varian yang menjelaskan respon dari model yang telah dilakukan. Sedangkan Q^2 adalah fraksi varian yang dapat memprediksi respon model yang telah dilakukan.



Gambar 4. 1 Diagram *Summary Plot*

Tabel 4.2 merupakan tabel ANOVA yang menjelaskan variasi data dari penelitian yang telah dilakukan. Pada penelitian ini digunakan nilai α (tingkat signifikansi) yang menunjukkan error yang diizinkan adalah 1 – *confidence level*. *Confidence level* yang digunakan pada *software* ini yaitu sebesar 95% (0,95) sehingga diperoleh nilai α sebesar 0,05. Signifikan level sebesar 95% artinya model memiliki tingkat kebenaran sebesar 95% serta peluang memperoleh

Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :

kesalahan maksimal yaitu sebesar 5% (toleransi kesalahan). Untuk mendapatkan model yang valid, nilai P harus dibawah nilai α. Pada tabel ANOVA dapat dilihat nilai P (*probability*) mununjukkan angka 0 yang berarti nilai P < α yang menandakan bahwa hasil penelitian dikatakan baik atau diperoleh model yang signifikan berdasarkan *confidence level* sebesar 95% (tabel 4.2).

Tabel 0.2 Tabel ANOVA *(Analysis Of Variance)*

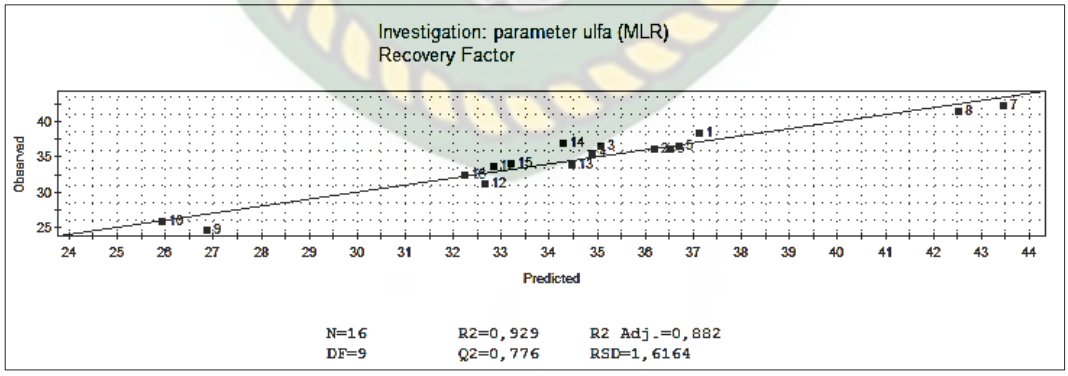
NO	Recovery Factor	DF	SS	MS	F	P	SD
1				**(variance)**			
2	**TOTAL**	**16**	**19584,6**	**1224,04**			
3	**CONSTANT**	**1**	**19253,3**	**19253,3**			
4							
5	**TOTAL CORECTED**	**15**	**331,295**	**22,0863**			**4,69961**
6	**REGRESSION**	**6**	**307,781**	**51,2968**	**19,6339**	**0,000**	**7,16218**
7	**RESIDUAL**	**9**	**23,514**	**2,61267**			**1,61638**
8							
9	**LACK OF FIT**	--	--	--	--	--	--
10	**(MODEL ERROR)**						
11	**PURE ERROR**	--	--	--			--
12	**REPLICAT ERROR**						
13							
14	N=16	Q2 =	0,776	Cond. no. =	1,0000		
15	DF=9	R2 =	0,929	Y-miss =	0		
16		R2 Adj. =	0,882	RSD =	1,6164		
The probability for the regression is significant at 95%. The model is satifically good							

Selain nilai P pada tabel ANOVA juga terdapat nilai R^2 dan R^2_adjusted adalah fraksi dari variasi respon yang telah disesuaikan. Jika nilai R^2 dan R^2_adjusted semakin mendekati 1, dapat disimpulkan bahwa terdapat kesesuaian antara data dengan model. Pada penelitian ini diperoleh hasil R^2 dan R^2_adjusted sebesar 0,929 & 0,882. R^2 menunjukkan koefisien determinasi berkisar 0 – 1. Semakin kecil R^2 maka hubungan antar variabel akan semakin lemah, sebaliknya jika R^2 semakin mendekati 1, maka hubungan antar variabel semakin kuat. Angka ini akan diubah dalam bentuk persen untuk mempermudah penentuan besar

Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :

kecilnya pengaruh variabel, yang berarti persentase sumbangan pengaruh variabel independen terhadap variabel dependen. Variabel independen atau disebut juga dengan variabel bebas adalah variabel yang memengaruhi atau menjadi sebab perubahan sehingga menimbulkan variabel terikat (dependen). Variabel independen dalam penelitian ini yaitu parameter uji meliputi *injection rate*, *slug size*, *number of cycle*, WAG *ratio*, permeabilitas dan porositas. Sementara variabel dependen adalah variabel yang telah dipengaruhi oleh adanya variabel independen. Varibel dipenden dalam penelitian ini adalah *recovery factor*.

Pada tabel ANOVA (tabel 4.2) dapat dilihat nilai R^2 adalah 0,929 artinya sumbangan pengaruh *injection rate*, *slug size*, *number of cycle*, WAG *ratio*, permeabilitas, porositas terhadap *recovery factor* minyak sebesar 92,9%. Sedangkan sisanya dipengaruhi oleh variabel lain yang tidak dimasukkan kedalam model/ variabel independen tersebut. Simbol RSD (Residual Standar Deviasi) adalah tingkat penyimpangan data. Semakin besar nilai RSD yang didapat maka data sampel semakin menyebar (bervariasi). Sebaliknya jika semakin kecil, maka data sampel semakin homogen (hampir sama). Ketika nilai semakin mendekati 0 maka model semakin baik dalam melakukan prediksi, sebaliknya jika nilai semakin menjauhi 0 atau lebih dari 1 maka semakin tidak baik model dalam melakukan prediksi. Pada tabel ANOVA nilai RSD yang didapat sebesar 1,6164.



Gambar 4. 2 Grafik Hubungan Data *observed* dan *predicted*

Gambar 4.2 merupakan grafik hubungan data *observed* dan *predicted*, Penyebaran data hasil penelitian dapat dikatakan baik apabila plot antara *observed* (penelitian) vs *prediction* (*software*) mendekati *straight line*. Dari gambar 4.2

Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :

dapat dilihat titik-titik penyebaran sudah mendekati *straight line* yang berarti hasil dari penelitian ini baik.

Tabel 4.3 menunjukkan hasil penelitian dengan hasil prediksi pada *software modde 5* tidak jauh berbeda. Kedekatan hasil yang didapat mengindikasikan bahwa penelitian yang telah dilakukan mendekati kata berhasil. Adapun hasil yang kurang mendekati yaitu 9 dan 14. Yang kurang medekati ini dikarenakan oleh hasil RF dari kombinasi parameter yang diujikan. Kombinasi dari parameter yang berbeda untuk pengaruh dari setiap parameternya akan memberikan dampak yang berbeda pula.

Tabel 0.3 Hasil data observasi dan prediksi pada *software modde* 5

Nomor	Observed (%)	Prediction (%)
1	38,3646	37,1349
2	36,0019	36,1892
3	36,593	35,0805
4	35,388	34,8999
5	36,4346	36,7096
6	36,162	36,529
7	42,2111	43,4549
8	41,3519	42,5091
9	24,6407	26,869
10	25,7505	25,9232
11	33,6654	32,8492
12	31,2103	32,6685
13	33,7832	34,4783
14	36,9934	34,2977
15	34,0728	33,189
16	32,4018	32,2432

Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :

4.2 ANALISIS PARAMETER DOMINAN PADA INJEKSI CO2 WAG *(WATER ALTERNATING GAS)*

Dalam penelitian ini, untuk mengetahui parameter dominan perlu dilihat terlebih dahulu apakah tiap-tiap parameter merupakan parameter signifikan berdasarkan signifikan level sebesar 95% yang digunakan pada *software Modde 5* ini. Nilai P (*probability*) untuk masing-masing parameter uji, dapat dilihat pada tabel 4.4.

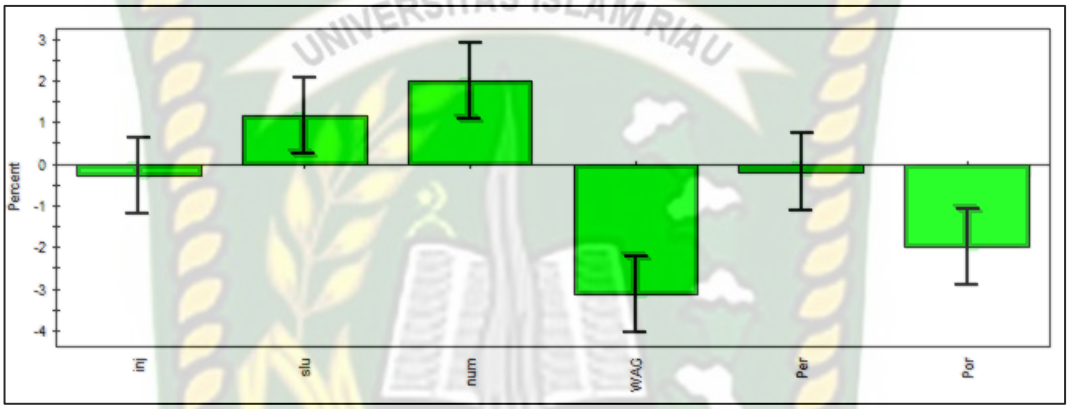
Tabel 0.4 *Coefficient list* tiap parameter

No	Recovery Factor	Coeff. SC	Std. Err.	P	Conff. int (±)
1	Constant	34,6891	0,404094	2,00128e-014	0,914132
2	**Injection Rate**	-0,2816	0,404094	0,503486	0,914132
3	**Slug Size**	1,17271	0,404094	0,0175359	0,914132
4	**Number Of Cycle**	1,98728	0,404094	0,000827045	0,914132
5	**Wag Ratio**	-3,12431	0,404094	2,90405e-005	0,914132
6	**Permeabilitas**	-0,191287	0,404094	0,647218	0,914132
7	**Porositas**	-2,00865	0,404094	0,000769113	0,914132
8					
9	N= 16	Q2 =	0,776	Cond. no. =	1,0000
10	DF= 9	R2 =	0,929	Y-miss =	0
11		R2 Adj. =	0,882	RSD =	1,6164
12				Conf. lev. =	0,95
At 95% confidence level, coefficient temp is not significant for the response recovery factor.					

Confidence level yang digunakan pada software ini yaitu sebesar 95% sehingga diperoleh nilai α sebesar 0,05. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa parameter *Injection Rate* dan Permeabilitas merupakan parameter yang tidak signifikan karena nilai P tidak signifikan terhadap respon *recovery factor* berdasarkan *confidence level* 95% seperti yang ditunjukkan oleh tabel 4.4. Pada tabel, dapat dilihat bahwa nilai P untuk parameter *Injection Rate* sebesar 0,503486 dan parameter permeabilitas sebesar 0,647218. Ini tidak signifikan dengan *confidence level* 95% yang mana jika *confidence level* sebesar 95% maka α adalah 0,05 yang artinya memiliki tingkat kebenaran sebesar 95% serta peluang memperoleh kesalahan maksimal yaitu sebesar 5% (toleransi kesalahan). Untuk

Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :

confidence level sebesar 95%, nilai P tiap parameter haruslah dibawah nilai α. Jika nilai P diatas 0,05, itu berarti tingkat kebenarannya tidak sebesar 95% dan toleransi kesalahannya lebih besar dari 5%. Sementara untuk parameter *slug size*, *Number Of Cycle*, WAG *Ratio*, dan porositas merupakan parameter signifikan dengan nilai P di bawah 0,05. Nilai P paling kecil yaitu parameter porositas. Semakin kecil nilai P, maka akan semakin besar pengaruh (*main effect*) yang diberikan oleh parameter uji terhadap respon.



Gambar 4. 3 *Coefficient Plot*

Gambar 4.3 menunjukkan *coefficient plot* dari masing-masing parameter. *Coefficient plot* pada *Injection Rate*, *Wag Ratio*, Permeabilitas dan Porositas menunjukkan arah negatif yang artinya dengan menurunkan nilai dari parameter, akan berdampak kepada *recovery factor* minyak yang meningkat. Sementara *coefficient plot* pada *slug size* dan *Number Of Cycle* menunjukkan arah positif yang artinya dengan meningkatkan nilai dari parameter uji akan berdampak kepada nilai *recovery factor* minyak yang meningkat.

Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :

Tabel 0.5 *Main effect* masing-masing parameter

NO	Recovery Factor	Effect	Conf. int(±)		
1	**WAG Ratio**	**-6,24862**	**1,82826**		
2	**Porositas**	**-4,0173**	**1,82826**		
3	**Number of Cycle**	**3,97455**	**1,82826**		
4	**Slug Size**	**2,34543**	**1,82826**		
5	**Injection Rate**	**-0,5632**	**1,82826**		
6	**Permeabilitas**	**-0,382574**	**1,82826**		
7					
8	N = 16	Q2 =	0,776	Cond. no. =	1,0000
9	DF = 9	R2 =	0,929	Y-miss =	0
10		R2 Adj. =	0,882	RSD =	1,6164
11				Conf. lev. =	0,95
12					

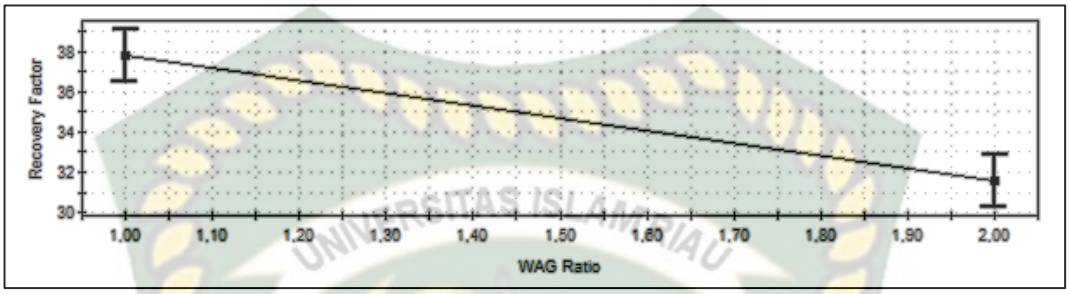
Main effect adalah pengaruh utama dari parameter tersebut tanpa memperhitungkan pengaruh interaksi dengan parameter lain. Terlihat pada Tabel 4.5 parameter paling dominan yang dapat meningkatkan *recovery factor* minyak pada injeksi CO_2-WAG secara berkala adalah *WAG ratio*, dengan koefisien terbesar yaitu -6,24862 yang artinya dengan menurunkan jumlah WAG Ratio dalam rentang 1:2 – 2:1 akan dapat meningkatkan *recovery factor* minyak.

Parameter dominan kedua yaitu porositas dengan koefisien bernilai negatif sebesar -4,0173 yang artinya dengan menurunkan porositas dalam rentang 0,05% – 0,1% akan dapat meningkatkan *recovery factor* minyak. Parameter dominasi yang ketiga yaitu *Number Of Cycle* dengan koefisien sebesar 3,97455 yang artinya dengan menaikan jumlah *Number Of Cycle* akan dapat meningkatkan *recovery factor* minyak. Parameter dominan yang keempat yaitu *slug size* dengan koefisien sebesar 2,34543 yang artinya dengan menaikkan jumlah *slug size* dapat meningkatkan *recovery factor* minyak. Sementara untuk *injection rate* dan permeabilitas tidak memberikan pengaruh yang signifikan dalam penelitian ini.

Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :

4.3 ANALISIS PENGARUH PARAMETER UJI TERHADAP *RECOVERY FACTOR* MINYAK

4.3.1 WAG Ratio

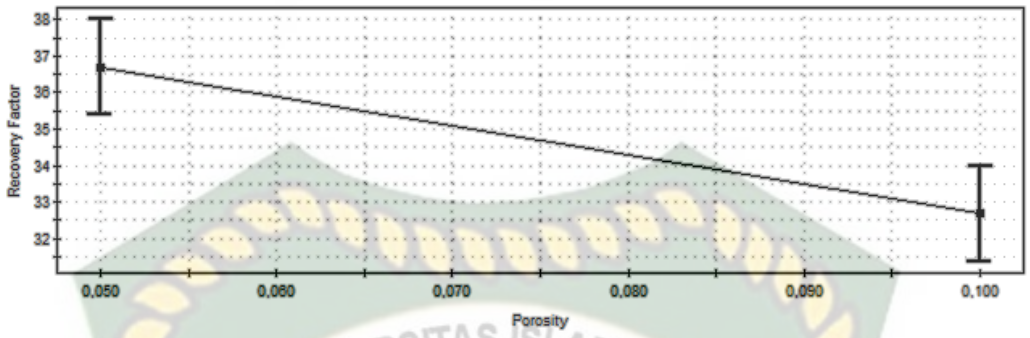


Gambar 4. 4 Pengaruh parameter WAG *Ratio* terhadap RF

Berdasarkan hasil penelitian pada gambar 4.4, parameter ini merupakan parameter paling dominan terhadap peningkatan RF. Dari gambar, dapat dilihat bahwa nilai 1 merupakan angka untuk mewakili rasio 1:2, sedangkan nilai 2 merupakan angka yang mewakili rasio 2:1. Hasil penelitian menunjukkan bahwa WAG ratio 2:1 menyebabkan terjadinya penurunan *recovery factor* minyak. Dari grafik dapat dilihat, sebaran data RF mulai dari 37,8% pada level maksimum dan 31,6% pada level minimum. Artinya dalam penelitian ini WAG rasio yang dapat meningkatkan *Recovery Factor* adalah Rasio 1:2. Jumlah air yang terlalu banyak dapat menyebabkan terjadinya *water tongue* didasar reservoir dan lemahnya *macroscopic displacement*. Selain itu jumlah gas terlalu banyak dapat menyebabkan terbentukya gas *tongue* dibagian puncak *reservoir* sehingga *sweep efficiency* menjadi lemah (Ain et al., 2017). Menurut Nasir & Chong (2016) semakin tinggi peningkatan rasio air, semakin besar peningkatan RF.

Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :

4.3.2 Porositas

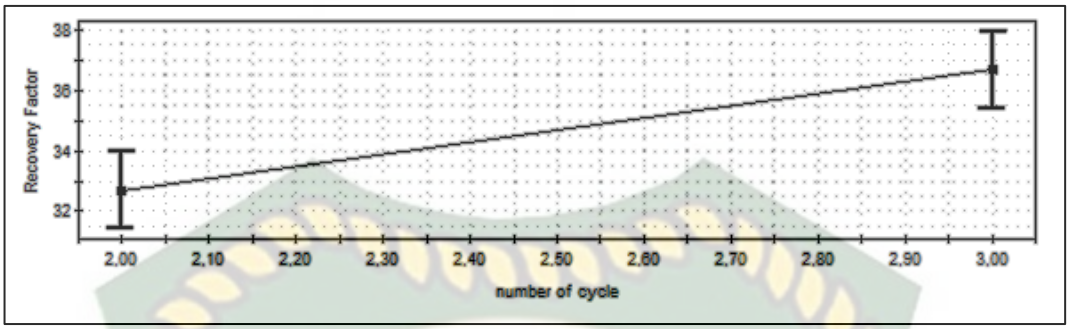


Gambar 4. 5 Pengaruh parameter porositas terhadap RF

Berdasarkan gambar 4.5, dapat diketahui bahwa porositas dalam rentang 0,05% - 0,1% memberikan pengaruh yang positif terhadap *oil recovery*. Sebaran data RF dari 36,7% pada level maksimum sampai dengan 32,7% pada level minimum. Dari sebaran data RF diatas, dapat diketahui bahwa porositas berbanding terbalik dengan *Recovery Factor* (RF), semakin besar porositas maka semakin kecil *recovery factor* begitupun sebalikya jika porositas kecil maka semakin besar nilai *Recovery Factor* (RF) yang akan kita dapatkan. Porositas berpengaruh besar dan berbanding lurus terhadap *Total Oil in Place* (TOIP) yang dalam penentuan *recovery factor* (RF) berperan sebagai pembagi daripada *cumulative oil production* (NP). Sehingga bila porositas besar, maka *total oil in place* (TOIP) besar, maka *recovery factor* (RF) akan mengecil terlepas dari perubahan yang terjadi pada *cumulative oil production* (NP) akibat kenaikan porositas batuan. Begitupun sebaliknya bilamana porositas mengecil akan berpengaruh besar terhadap kenaikan *recovery factor* (RF) (Ariadji, 2019).

Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :

4.3.3 Number Of Cycle

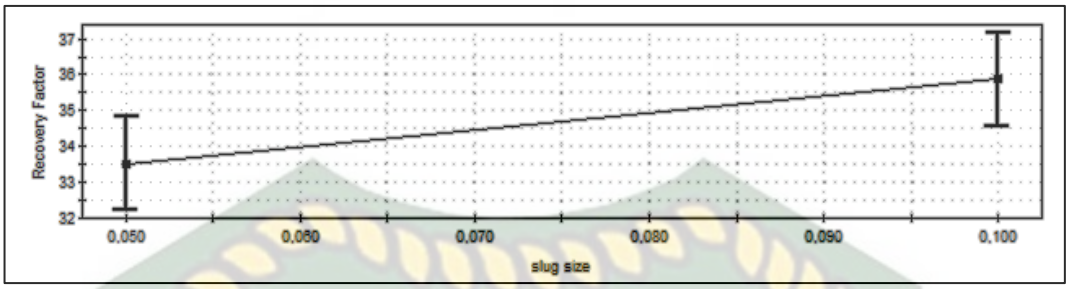


Gambar 4. 6 Pengaruh parameter *Number Of Cycle*

Hasil penelitian menunjukkan bahwa naiknya *number of cycle* menyebabkan terjadinya peningkatan *recovery factor* minyak. Dari grafik dapat dilihat, sebaran data RF mulai dari 32,7% pada level minimum dan 36,7% pada level maksimum. Hal ini menunjukkan bahwa WAG *cycle* sangat mempengaruhi *performance* dari WAG dikarenakan apabila air yang diinjeksikan terlalu sedikit maka kecepatan gas CO_2 menjadi lebih besar, kemudian akan terbentuk *solvent bank*. Akibatnya, akan menghasilkan rasio mobilitas yang tidak diinginkan pada antar muka *solven*t atau minyak sehingga terbentuk *fingering* dari *solvent* ke *oil bank* yang mana akan mengurangi effisiensi proses. Sebaliknya, bila terlalu banyak air yang diinjeksikan maka air akan bergerak lebih cepat dari *solvent* sehingga menghasilkan saturasi air yang tinggi pada antarmuka *solvent* atau minyak. Kemudian kemungkinan terjebaknya minyak akan meningkatkan tingginya saturasi air (Inaloo & Jafari, 2014).

Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :

4.3.4 Slug Size

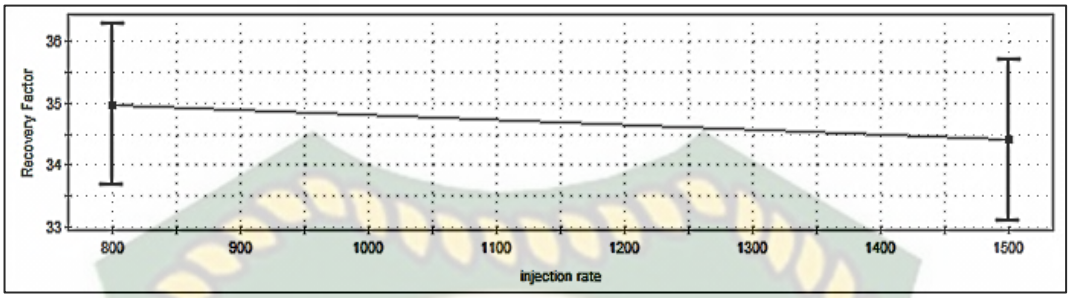


Gambar 4. 7 Pengaruh parameter *slug size* terhadap RF

Dari gambar 4.7, dapat dilihat peningkatan volume CO_2 yang diinjeksikan dari 0,05 PV dan 0,1 PV memiliki range RF berkisar antara 33,5% sampai 35,9% hanya menyebabkan peningkatan produksi kumulatif sebesar 2,3%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan CO_2 *slug size* akan menyebabkan peningkatan produksi kumulatif minyak. Namun, bila harga total volume CO_2 yang diinjeksikan lebih besar dari 1 PV, perolehan minyak terlihat tidak signifikan (Sarvak et al., 2021). Proses injeksi WAG pada volume yang optimal, dapat menaikkan *oil recovery* yang lebih tinggi dibandingkan dengan skenario bergantian lainnya seperti injeksi gas dan injeksi air (Aghdam & Ghorashi, 2017). Dengan demikian, besaran slug size merupakan salah satu fakor penting yang perlu dipertimbangkan untuk memperoleh jumlah minyak yang optimal.

Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :

4.3.5 Injection Rate

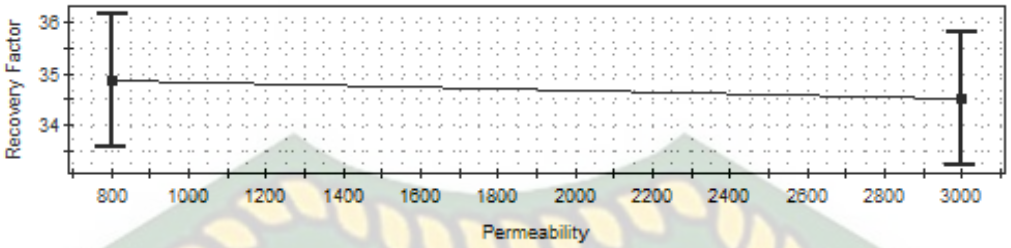


Gambar 4. 8 Pengaruh parameter *injection rate* terhadap RF

Berdasarkan hasil penelitian pada gambar 4.8, menunjukkan bahwa menurunnya *injection rate* menyebabkan terjadinya peningkatan *recovery factor* minyak. Dari grafik dapat dilihat, sebaran data RF mulai dari 36,3 – 33,7% pada level maksimum parameter dengan nilai median (nilai tengah) sebesar 35% memiliki range RF yang berkisar antara 35% – 34,4%, yang mana merupakan nilai tengah dari sebaran RF pada level minimum parameter mulai dari 35,7 – 33,2%. Laju injeksi adalah parameter paling penting yang dapat mempengaruhi *oil recovery factor*, khususnya di *reservoir* yang rekah (Hashemi Fath & Pouranfard, 2014). Pada metode WAG, semakin tinggi laju injeksi maka fluida injeksi akan semakin cepat mendorong minyak menuju produser sehingga tidak semua area yang terlewati dapat dijangkau. Maka semakin cepat laju injeksi akan semakin besar pula kemungkinan untuk mengalami *water breaktrough* disekitar area produksi tinggi hanya efektif untuk periode produksi yang pendek, namun untuk produksi jangka panjang injeksi yang tidak terlalu tinggi dapat memberikan hasil recovery yang lebih baik.

Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :

4.3.6 Permeabilitas



Gambar 4. 9 Pengaruh parameter permeabilitas terhadap RF

Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa naiknya permeabilitas menyebabkan terjadinya peningkatan *recovery factor* minyak. Dari grafik dapat dilihat, sebaran data RF mulai dari 36,2 – 33,6% pada level maksimum parameter dengan nilai median (nilai tengah) 34,9% memiliki *range* RF yang berkisar antara 34,9% – 34,5%, yang merupakan nilai tengah dari sebaran RF pada level minimum parameter mulai dari 35,8 – 33,2%. Pada proses WAG jika permeabilitas sangat tinggi dapat menyebabkan rekahan pada resevoir sehingga fluida yang diinjeksikan dapat menghasilkan rekahan (djebbar.,2004).

Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

Parameter paling dominan yang dapat meningkatkan nilai *recovey factor* minyak dalam injeksi WAG pada sumur *heavy oil* berdasarkan *conffidence level* sebesar 95% nilai P (*probability*) dan *main effect* adalah WAG Rasio dengan nilai P terkecil 2,90405 x 10^{-5} dan *coefficient* terbesar dengan nilai Negatif sebesar -3,12431 yang artinya dengan menurunkan nilai WAG rasio dalam rentang 1:2 – 2:1 akan meningkatkan *recovery factor* minyak. Parameter dominan yang kedua yaitu Porositas dengan nilai parameter 0,05 – 0,1 % dengan nilai P 0,000769113 dan *coefficient* sebesar -2,00865. Kemudian diikuti oleh parameter *Number Of Cycle* dengan nilai P 0,000827045 dan *coefficient* sebesar 1,98728 dalam rentang 2-3 *cycle*, yang artinya dengan menaikkan nilai *Number Of Cycle* akan meningkatkan *recovery factor* sementara , diikuti oleh *Slug Size* kemudian parameter yang tidak memberi pengaruh signifikan dalam penelitian ini yaitu WAG rasio dan permeabilitas.

5.2 SARAN

Berdasarkan kesimpulan yang telah dijabarkan saran yang dapat diberikan kepada peneliti berikutnya adalah melakukan penelitian lebih lanjut untuk optimasi terhadap injeksi WAG pada sumur *heavy oil* dengan metode *response surface methodology* (RSM).

Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :

DAFTAR PUSTAKA

Zekri, Abdulrazag Yusef.,1_NASKAH TA_101316051_Muhamad Isa-signed.pdf. (n.d.).

A, O. D., Churchill, A., S, F. A., & Tope, O. (2017). Evaluation of Different Wag Optimization and Secondary Recovery Techniques in a Stratified Reservoir, *12*(20), 9259–9270.

Aghdam, K. A., & Ghorashi, S. S. (2017). Critical Parameters Affecting Water Alternating Gas (WAG) Injection in an Iranian Fractured Reservoir, *7*(3), 3–14.

Ain, N., Mohd, B., Yunan, M. H., Sagala, F., & Katende, A. (2017). The Effect of WAG Ratio and Oil Density on Oil Recovery by Immiscible Water Alternating Gas Flooding, *4*(5), 80–90.

Ariadji, T. (2019). Kuantifikasi Ketidakpastian Pengembangan Lapangan Secara Terintegrasi Surface dan Sub-surface dengan Menggunakan Desain Eksperimental, (July 2010).

Arogundade, O., Shahverdi, H., & Sohrabi, M. (2013). SPE 165218 A Study of Three Phase Relative Permeability and Hysteresis in Water Alternating Gas (WAG) Injection, 1–16.

Azimi, F. (n.d.). MSc thesis Continuous Immiscible Nitrogen and WAG Injection into Bentheimer Sandstone Injection into Bentheimer Sandstone.

Gbadamosi, A. O., Kiwalabye, J., Junin, R., & Augustine, A. (2018). A review of gas enhanced oil recovery schemes used in the North Sea. *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*, *8*(4), 1373–1387.

Hamdi, Z. (2014). Introducing New Slug Size Method in Water Alternating CO2 for Enhanced Oil Recovery Introducing New Slug Size Method in Water Alternating CO 2 for Enhanced Oil Recovery, (September).

Hashemi Fath, A., & Pouranfard, A. R. (2014). Evaluation of miscible and immiscible CO2 injection in one of the Iranian oil fields. *Egyptian Journal of Petroleum*, *23*(3), 255–270.

Inaloo, M. B., & Jafari, F. (2014). Comparison of Water Flooding , Gas Injection

Perpustakaan Universitas Islam Riau

Dokumen ini adalah Arsip Milik :

and WAG Injection Scenarios Performance in a Five Spot Pattern, *31*(1), 96–103.

Jabbari, H., Ostadhassan, M., Rabeie, M., & Dakota, N. (2015). Geomechanics Modeling in CO2-EOR : Case Study, (October), 20–22.

Khoy, B. P., Moradi, S., Zargar, G., & Ganjeh, M. (2019). Determination of Effective Parameters of Gas Injection in Naturally Fractured Reservoirs by Combination of Reservoir Simulation and Design of Experiment Techniques Determination of Effective Parameters of Gas Injection in Naturally Fractured Reservoirs by Combination of Reservoir Simulation and Design of Experiment Techniques.

Khurshid, I., & Choe, J. (2013). SPE 165158 Characterizing Formation Damages Due to Carbon Dioxide Injection in High Temperature Reservoirs and Determining the Effect of Solid Precipitation and Permeability Reduction on Oil Production.

Merchant, D., & Consulting, M. (2017). CMTC-502866-MS Enhanced Oil Recovery – The History of CO 2 Conventional WAG Injection techniques developed from Lab in the 1950's to 2017.

Migas, S. (2019). Meningkatkan PRODUKSI MINYAK BUMI.

Muslim, Abdurrahman, & Permadi, A. K. (2016). CO2 Gas Blending to Lower the Minimum Miscibility Pressure: A Case Study at AB-4 and AB-5 Layers of Air Benakat Formation, SOuth Sumatra Basen, (July).

Nasir, F. M., & Chong, Y. Y. (2016). The Effect of Different Carbon Dioxide Injection Modes on Oil Recovery, (December 2009).

Nuryaningsih, L., Jiang, H., & Adidharma, H. (2010). SPE 139580 Experimental Study on Optimum Half-Cycle Slug Size of Water Alternating Gas Under Tertiary Miscible Carbon Dioxide Flooding, (M), 1–9.

Sarvak, F., Rumaitha, L., & Snyder, L. K. (2021). https://publikasi.kocenin.com/ 1.7.1, *1*(1), 1–7.

Skauge, A., & Age Stensen, J. (2014). Review of WAG Field Experience, (November).

W.S, G. A. (2015). Injeksi Co2, 55.

Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :

Zekri, A. Y., Nasr, M. S., & AlShobakyh, A. (2011). Evaluation of Oil Recovery by Water Alternating Gas (WAG) Injection - Oil-Wet & Water-Wet Systems. *SPE Enhanced Oil Recovery Conference*, (2008)

Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :