

**INVESTIGASI *MINIMUM MISCIBILITY PRESSURE* (MMP)
UNTUK GAS INJEKSI CO₂ PADA *HEAVY OIL*
LAPANGAN KLM**

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Penyusunan Tugas Akhir Program Studi Teknik Perminyakan

Oleh

ROBBI FIRLI

173210903



**PROGRAM STUDI TEKNIK PERMINYAKAN
UNIVERSITAS ISLAM RIAU
PEKANBARU**

2020

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas akhir ini disusun oleh :
Nama : Robbi Firli
NPM : 173210903
Program Studi : Teknik Perminyakan
Judul Skripsi : Investigasi *Minimum Miscibility Pressure* (MMP) untuk gas Injeksi CO₂ pada *Heavy Oil* Lapangan KLM.

Telah berhasil dipertahankan dihadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Perminyakan, Fakultas Teknik, Universitas Islam Riau

DEWAN PENGUJI

Pembimbing I : Dr. Eng. Muslim, MT. (.....)
Penguji : Novia Rita, ST., MT. (.....)
Penguji : Idham Khalid, ST., MT. (.....)

Diterapkan di : Pekanbaru
Tanggal : April 2020

Disahkan Oleh:

DEKAN
FAKULTAS TEKNIK

SEKRETARIS PROGRAM STUDI
TEKNIK PERMINYAKAN

Dr. Eng. MUSLIM, MT

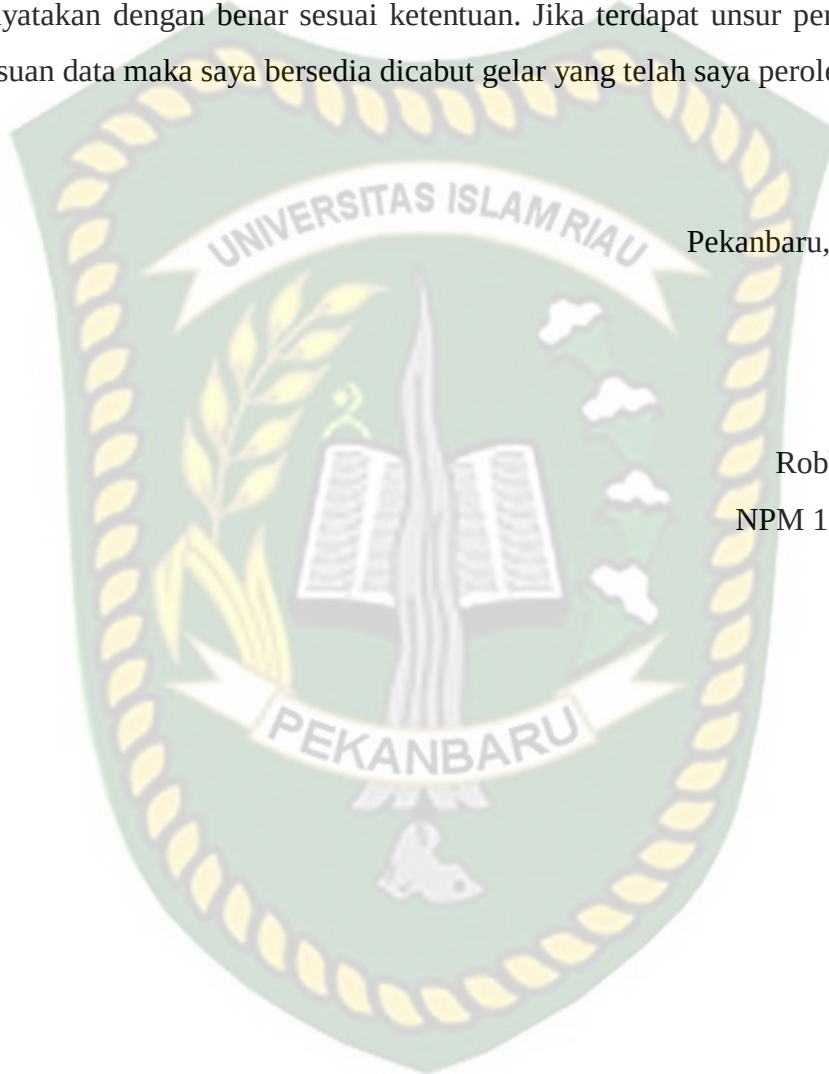
NOVRIANTI, ST., MT

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa tugas akhir ini merupakan karya saya sendiri dan semua sumber yang tercantum di dalam 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 telah saya peroleh.

Pekanbaru, April 2020

Robbi Firli
NPM 173210903



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 menyelesaikan tugas akhir ini serta memperoleh ilmu pengetahuan selama perkuliahan. Tanpa bantuan dari mereka tentu akan sulit rasanya untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik ini. Oleh karena itu saya ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dr. Eng., Muslim, M.T. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan masukan dalam penyusunan tugas akhir ini, memberikan nasihat, penyemangat selama menjalani perkuliahan di Teknik Perminyakan.
2. Bapak Agus Masduki, ST., Meng selaku pembimbing lapangan yang telah membantu, memberikan masukan selama penyusunan tugas akhir ini.
3. Orang tua Rodison dan Emi Warni, serta Adik Olivia Cahyani atas segala doa dan kasih sayang, dukungan moril dan materil yang diberikan sampai penyelesaian tugas akhir.
4. Teman-teman yang telah membantu saya dalam menyelesaikan tugas akhir ini. Teriring doa saya, semoga Allah memberikan balasan atas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga Tugas akhir ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan.

Pekanbaru, April 2020

Robbi Firli

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	
HALAMAN PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR LAMPIRAN	x
DAFTAR SINGKATAN	xi
DAFTAR SIMBOL	xii
ABSTRAK	xiii
ABSTRACT	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	2
1.3 Manfaat Penelitian.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Aktivitas Metode CO ₂ -EOR	4
2.1.1 Aktivitas CO ₂ -EOR di dunia.....	4
2.1.2 Aktivitas CO ₂ -EOR di Indonesia	5
2.2 Faktor Penurunan <i>Minimum Miscibility Pressure</i>	5
2.2.1 Temperatur Reservoir	6
2.2.2 Komposisi Minyak.....	6

2.2.3 Campuran Gas injeksi	6
2.3 Mekanisme injeksi CO ₂	6
2.3.1 <i>Miscible Displacement</i>	7
2.3.2 <i>Near Miscible Displacement</i>	8
2.3.3 <i>Immiscible Displacement</i>	8
2.4 Metode Penentuan Nilai MMP (<i>Minimum Miscibility Pressure</i>).....	8
2.4.1 Uji Laboratorium.....	8
2.4.2 Metode Korelasi.....	9
2.4.3 Simulasi Numerik	9
2.4.4 Persamaan Keadaan (EOS)	9
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	11
3.1 Metode Penelitian.....	11
3.2 Jenis penelitian.	11
3.3 <i>Flowchart</i> Penelitian	13
3.4 Tempat Penelitian.....	13
3.5 Jadwal Penelitian.....	14
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	15
4.1 Analisa Perolehan Nilai MMP Menggunakan Metode Simulasi Numerik Satu-Dimensi (1D) dan Metode Persamaan Keadaan (EOS).	15
4.2 Analisis Pengaruh Campuran Gas CO ₂ dengan Gas Lainnya Terhadap Nilai MMP.....	18
4.2.1 Gas CO ₂ + Gas Nitrogen.....	18
4.2.2 Gas CO ₂ + Gas Metana	20
4.2.3 Gas CO ₂ + Gas Etana	21
4.2.4 Gas CO ₂ + Gas Propana	22
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	25

5.1 Kesimpulan.....	25
---------------------	----

5.2 Saran	25
-----------------	----

DAFTAR FUSTAKA.....	26
----------------------------	-----------

LAMPIRAN



Dokumen ini adalah Arsip Milik :
 Perpustakaan Universitas Islam Riau

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	<i>Screening Criteria</i> (Terry, 2001)	4
Gambar 2.4	Perolehan minyak meningkat pada peningkatan tekanan untuk komposisi minyak dan temperatur yang konstan (Verma, 2015) .	7
Gambar 3.1	<i>Flowchart</i> penelitian	13
Gambar 4.1	Model Simulasi Numerik 1-D.....	15
Gambar 4.2	Hasil Perolehan Nilai MMP Gas CO ₂	17
Gambar 4.3	Hasil Perolehan Nilai MMP dari Gas CO ₂ Murni.....	18
Gambar 4.4	Hasil Perolehan Nilai MMP Gas CO ₂ + Gas Nitrogen	19
Gambar 4.5	Hasil Perolehan Nilai MMP Gas CO ₂ + Gas Metana	20
Gambar 4.6	Hasil Perolehan Nilai MMP Gas CO ₂ + Gas Metana	22
Gambar 4.7	Hasil Perolehan Nilai MMP gas CO ₂ + Gas Propana	23

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Komposisi minyak	11
Tabel 3.2	Karakteristik Minyak dan Data Reservoir	12
Tabel 3.3	Jadwal Penelitian	14
Tabel 4.1	Recovery Factor pada setiap tekanan injeksi CO ₂ 100%.....	16



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran I	Proses <i>miscibility</i> untuk gas injeksi CO ₂ murni
Lampiran II	Proses <i>miscibility</i> untuk gas injeksi CO ₂ + N ₂
Lampiran III	Proses <i>miscibility</i> untuk gas injeksi CO ₂ + CH ₄
Lampiran IV	Proses <i>miscibility</i> untuk gas injeksi CO ₂ + C ₂ H ₆
Lampiran V	Proses <i>miscibility</i> untuk gas injeksi CO ₂ + C ₃ H ₈
Lampiran VI	Densitas gas N ₂ pada temperatur dan tekanan tertentu
Lampiran VII	Densitas gas CO ₂ pada temperatur dan tekanan tertentu
Lampiran VIII	Densitas gas CH ₄ pada temperatur dan tekanan tertentu
Lampiran IX	Densitas gas C ₂ H ₆ pada temperatur dan tekanan tertentu
Lampiran X	Densitas gas C ₃ H ₈ pada temperatur dan tekanan tertentu
Lampiran XI	Perhitungan 1.2 PV fluida injeksi

DAFTAR SINGKATAN

API	<i>American Petroleum Institute</i>
EOR	<i>Enhanced Oil Recovery</i>
EOS	<i>Equation of state</i>
MMSFCD	<i>Million Standard Cubic Feet Per Day</i>
CMG	<i>Computer Modeling Group</i>
RF	<i>Recovery Factor</i>
MMP	<i>Minimum Miscible Pressure</i>
OOIP	<i>Original Oil In Place</i>
Psi	<i>Pounds Square Inch</i>
PV	<i>Pore Volume</i>

DAFTAR SIMBOL

CO_2	Karbon dioksida
N_2	Nitrogen
CH_4	Metana
C_2H_6	Ethana
C_3H_8	Propana
M_w	Berat molekul, gr/mol
SG	Spesific gravity
ρ	Densitas, kg/m^3
μ	Viskositas, cp
P	Tekanan, psi
T	Temperatur, $^{\circ}\text{F}$
$\emptyset$	Porositas, fraksi
h	Ketebalan, ft
K	Permeabilitas, mD
1-D	Satu dimensi

**INVESTIGASI *MINIMUM MISCIBILITY PRESSURE* (MMP)
UNTUK GAS INJEKSI CO₂ PADA *HEAVY OIL*
LAPANGAN KLM**

**ROBBI FIRLI
NPM 173210903**

ABSTRAK

Kebutuhan akan minyak bumi di Indonesia semakin meningkat dari tahun ke tahun, namun berbanding terbalik dengan produksi minyak bumi. Salah satu cara untuk mengatasi permasalahan ini adalah dengan menggunakan metode EOR (*Enhanced Oil Recovery*). Metode ini bertujuan untuk meningkatkan produksi minyak dengan cara menguras minyak yang tersisa di reservoir.

Lapangan KLM merupakan *mature field* dengan jenis fluida *heavy oil* yang terletak di Provinsi Riau. Salah satu permasalahan lapangan ini adalah tenaga reservoir yang melemah, serta viskositas minyak yang tergolong tinggi. Sehingga mengalami penurunan produksi minyak. Hal ini memiliki peluang untuk dilakukan metode EOR, salah satu metode EOR yang dapat digunakan adalah injeksi gas CO₂. Karena *screening criteria* dari metode tersebut memenuhi syarat untuk pengaplikasian pada lapangan KLM. Sebelum penginjeksian gas CO₂ dilakukan, sangat penting mengetahui besaran nilai *minimum miscibility pressure* (MMP). Adapun metode yang digunakan untuk mengetahui besaran nilai MMP pada penelitian ini adalah metode simulasi numerik satu-dimensi (1-D) dan persamaan keadaan (EOS). Kedua metode tersebut lebih cepat dan efisien serta dapat diterima keakuratannya.

Hasil menunjukkan besaran nilai MMP untuk injeksi gas CO₂ murni dengan menggunakan metode persamaan keadaan (EOS) didapat sebesar 2362 psi, sedangkan untuk metode simulasi numerik satu dimensi (1-D) sebesar 2430 psi. Penelitian ini memperlihatkan bahwa campuran gas CO₂ dengan gas nitrogen, etana dan metana dapat meningkatkan nilai MMP, sedangkan campuran gas CO₂ dengan propana dapat menurunkan nilai MMP dengan komposisi yang sama. Penelitian ini juga memperlihatkan selisih perolehan nilai MMP dari kedua metode yang digunakan berkisar antara 2,80%. Pengaruh yang memperlihatkan kenaikan secara signifikan berada pada campuran gas CO₂ dengan gas nitrogen, campuran gas ini dapat meningkatkan nilai MMP sebesar 280,50%. Sedangkan untuk campuran gas CO₂ dengan gas propana dapat menurunkan nilai MMP secara signifikan yaitu sebesar 41,75%.

Kata kunci: *Enhanced Oil Recovery, Minimum Miscibility Pressure, Simulasi Numerik Satu-Dimensi, Persamaan Keadaan (EOS).*

**INVESTIGATION MINIMUM MISCIBILITY PRESSURE (MMP)
FOR GAS INJECTION OF CO₂ IN HEAVY OIL
FIELD KLM**

**ROBBI FIRLI
NPM 173210903**

ABSTRACT

The needs for oil in Indonesia is increasing from year to year, but is inversely related to petroleum production. One way to overcome this problem is by using EOR (Enhanced Oil Recovery). This method aims to increase oil production by means of draining oil remaining in the reservoir.

KLM field is mature fields with fluid type heavy oil located in Riau Province. One of the problems of this field is to weaken the power of the reservoir, as well as oil viscosity is high. So the decline in oil production. It has a chance to do EOR methods, EOR methods one can use is the injection of CO₂. Because the screening criteria of the method are eligible for application in the field KLM. Before the injection of CO₂ is done, it is very important to know the amount of the minimum miscibility pressure (MMP). The method used to determine the amount of the value of MMP in this study is the method of numerical simulation of one-dimensional (1-D) and equation of state (EOS). Both methods are faster and more efficient and acceptable accuracy.

The results show the magnitude of the value of MMP for pure CO₂ gas injection using the equation of state (EOS) obtained at 2362 psi, while for the numerical simulation method one-dimensional (1-D) of 2430 psi. This research shows that a mixture of CO₂ gas with nitrogen, ethane and methane gas can increase the value of MMP, while a mixture of CO₂ gas with propane can reduce the value of MMP with the same composition. This study also showed the difference in acquisition of MMP values from the two methods used ranged between 2.80%. The effect which shows a significant increase is in the mixture of CO₂ gas and nitrogen gas, this gas mixture can increase the MMP value by 280.50%. As for the mixture of CO₂ gas with propane gas can reduce the MMP value significantly by 41.75%.

Kata kunci: *Enhanced Oil Recovery*, Minimum Miscibility Pressure, Numerical simulation (1-D), Equation of state (EOS)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan akan minyak bumi di Indonesia semakin meningkat dari tahun ke tahun, namun berbanding terbalik dengan produksi minyak bumi. Hal ini terjadi karena umumnya lapangan minyak di Indonesia yang sudah tua. (SKK MIGAS, 2016). Salah satu cara untuk mengatasi permasalahan ini adalah dengan menggunakan metode EOR (*Enhanced Oil Recovery*). Metode ini bertujuan untuk meningkatkan produksi minyak dengan cara menguras minyak yang tersisa di reservoir. Berbagai metode telah dikembangkan untuk meningkatkan perolehan minyak, seperti *Miscible Flooding*, *Thermal Flooding*, *Chemical Flooding* dan *Microbial Flooding* (Terry, 2001). Studi *screening* membuktikan bahwa injeksi CO₂ merupakan yang paling banyak digunakan, dan akan sangat menguntungkan untuk diterapkan pada masa depan karena injeksi CO₂ dapat mengurangi polusi udara serta pemanasan global (Abdurrahman, Permadi, Bae, & Masduki, 2017). Sebuah studi perbandingan tentang injeksi gas immiscible pada heavy oil menunjukkan bahwa gas CO₂ menghasilkan tingkat recovery yang lebih baik bila dibandingkan dengan nitrogen dan metana (Dong & Huang, 2002). Penelitian juga telah dilakukan pada lapangan Bati Raman di Turkey untuk Injeksi CO₂ tipe *Huff-n-Putt immiscible* pada *heavy oil*, hasilnya menunjukkan bahwa produksi minyak mengalami peningkatan kira-kira 10 kali lebih tinggi dari pada sebelum injeksi di mulai (Issever, Pamira, & Tirek, 1993).

Sebelum injeksi CO₂ dilakukan, sangat penting mengetahui besaran nilai *minimum miscibility pressure*. Karena pada saat nilai MMP dapat dicapai maka gas CO₂ yang diinjeksikan sepenuhnya menjadi tercampur dengan minyak, yang mengakibatkan densitas dan viskositas minyak menurun serta meningkatkan volume minyak. Untuk mengetahui besaran nilai *minimum miscibility pressure* terdapat beberapa metode yang dapat digunakan yaitu uji laboratorium menggunakan *slim tube*, metode korelasi, simulasi numerik model satu-dimensi dan persamaan keadaan EOS (Muslim & Permadi, 2015). Dalam penelitian ini, dimana metode yang digunakan untuk menentukan nilai MMP adalah simulasi numerik

satu-dimensi dan persamaan keadaan. Karena kedua metode tersebut lebih cepat dan efisien (Abdurrahman & Permadi, 2016). Serta dapat diterima keakuratannya, ditambah kesalahan relative lebih rendah yaitu dibawah 5% dari hasil uji coba *slim-tube* (Alexander, Kasmungin, & Setiati, 2017).

Lapangan KLM merupakan *mature field* dengan jenis fluida *heavy oil* yang terletak di Provinsi Riau. Salah satu permasalahan lapangan ini adalah tenaga reservoir yang melemah, serta viskositas minyak yang tergolong tinggi. Sehingga mengalami penurunan produksi minyak. Hal ini memiliki peluang untuk dilakukan metode EOR (Fardiansyah, Finaldhi, Graha, Harris, & Susianto, 2018). Salah satu metode EOR yang dapat digunakan adalah injeksi gas CO₂. Karena screening criteria dari metode tersebut memenuhi syarat untuk pengaplikasian pada lapangan KLM, serta memiliki sumber gas yang cukup untuk dilakukan metode injeksi CO₂. Dimana sumber CO₂ dapat diperoleh dari cekungan Sumatra (Abdurrahman et al., 2013). Sebelum dilakukan injeksi gas CO₂, perlu diketahui nilai *minimum miscibility pressure* (MMP). Data ini digunakan untuk menentukan besarnya tekanan minimum yang diperlukan agar gas yang diinjeksikan dapat tercampur dengan minyak pada kondisi reservoir.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menentukan nilai *minimum miscibility pressure* dari injeksi gas CO₂ 100% pada lapangan minyak berat (*heavy oil*).
2. Mengetahui pengaruh campuran gas CO₂ dengan gas lainnya terhadap nilai *minimum miscibility pressure* pada minyak berat (*heavy oil*)

1.3 Manfaat Penelitian

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

1. Dapat menjadi referensi bagi mahasiswa sebagai acuan dalam penelitian khususnya tentang *Minimum Miscibility Pressure* (MMP) pada *Heavy Oil* dengan menggunakan metode simulasi yaitu (simulasi numerik satu-dimensi dan persamaan keadaan EOS).
2. Diharapkan hasil dari penelitian ini dapat menjadi acuan untuk mendesain project injeksi gas CO₂ pada lapangan KLM untuk waktu yang akan datang.

1.4 Batasan Masalah

Untuk mendapatkan hasil penelitian yang lebih terarah dan tidak menyimpang dari tujuan, maka di dalam penelitian ini dibatasi dengan melakukan analisis pengaruh nilai *Minimum Miscible Pressure* pada *Heavy Oil* menggunakan metode simulasi numerik satu-dimensi dan persamaan keadaan (EOS) dengan gas injeksi CO_2 , N_2 , CH_4 , C_2H_6 , dan C_3H_8 pada lapisan pertama.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Aktivitas Metode CO₂-EOR

Sejalan dengan meningkatnya kebutuhan akan minyak bumi, maka dikembangkan berbagai cara untuk meningkatkan perolehan minyak dari reservoir sebagai tahap lanjut dari perolehan tahap primer. Metode tahapan lanjut ini dikenal dengan sebutan EOR (*Enhanced Oil Recovery*).

CO₂-EOR salah satu usaha untuk meningkatkan produksi minyak dengan cara injeksi CO₂ ke dalam suatu sumur produksi tahap tersier peran CO₂ ini adalah untuk meningkatkan misibiliti minyak agar mudah terangkat ke permukaan bumi. Penelitian menunjukkan untuk meningkatkan perolehan minyak dengan menggunakan CO₂ dapat menghasilkan lebih 8% dari OOIP (Gozalpour, Ren, & Tohidi, 2005). Penginjeksiaan CO₂ lebih banyak diminati bila dibandingkan dengan penginjeksiaan gas lainnya karena lebih ekonomis, memiliki tingkat penyapuan yang lebih baik dan juga ramah lingkungan (Setiati, 2015).

Screening criteria dalam pengaplikasian metode EOR khususnya metode Miscible, Chemical, dan Thermal (Terry, 2001).

Process	Oil gravity (°API)	Oil viscosity (cP)	Oil saturation (%)	Formation type	Net thickness (ft)	Average permeability (mD)	Depth (ft)	Temp (°F)
Miscible								
Hydrocarbon	>35	<10	>30	Sandstone or carbonate	15–25	— ^a	>4500	— ^a
Carbon dioxide	>25	<12	>30	Sandstone or carbonate	15–25	— ^a	>2000	— ^a
Nitrogen	>35	<10	>30	Sandstone or carbonate	15–25	— ^a	>4500	— ^a
Chemical								
Polymer	>25	5–125	— ^b	Sandstone preferred	— ^a	>20	<9000	<200
Surfactant–polymer	>15	20–30	>30	Sandstone preferred	>10	>20	<9000	<200
Alkaline	13–35	<200	— ^b	Sandstone preferred	— ^a	>20	<9000	<200
Thermal								
Steamflooding	>10	>20	>40–50	Sand or sandstone with high porosity	>10	>50	500–5000	— ^a
Combustion	10–40	<1000	>40–50	Sand or sandstone with high porosity	>10	>50	>500	— ^a

^a Not critical but should be compatible.

^b Ten percent mobile oil above waterflood residual oil.

Gambar 2.1 Screening Criteria (Terry, 2001)

2.1.1 Aktivitas CO₂-EOR di dunia

Meningkatkan perolehan minyak menggunakan CO₂ *flooding* telah diterapkan pada beberapa lapangan minyak di dunia. Dimana penerapan CO₂-EOR tergolong proses yang relative menantang telah diterapkan secara komersial skala

besar di beberapa cekungan minyak di Amerika Serikat selama beberapa dekade terakhir (Stevens, Kuuskraa, Gale, & Beecy, 2001).

CO₂-EOR masih terus berkembang, salah satu aplikasi pemanfaatan CO₂ untuk EOR telah diterapkan di Norwegia, yaitu pada *power plant* Karsto dengan kapasitas CO₂ sebesar 125 juta ton yang dilakukan selama 25 tahun untuk diinjeksikan pada area Utsira South dengan jarak 33 km (Khalil & Biyanto, 2018).

2.1.2 Aktivitas CO₂-EOR di Indonesia

Kebutuhan akan minyak bumi di Indonesia semakain meningkat dari tahun ke tahun, namun berbanding terbalik dengan produksi minyak bumi (SKK MIGAS, 2016). Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor, salah satunya umur lapangan yang sudah tua (*mature fields*). Oleh karena itu dibutuhkan usaha untuk meningkatkan produksi minyak bumi, salah satunya menggunakan metode CO₂-EOR. Karena studi skrining membuktikan bahwa injeksi CO₂ merupakan yang paling banyak digunakan, dan akan sangat menguntungkan untuk diterapkan pada masa depan (Abdurrahman et al., 2017).

Metode CO₂-EOR mempunyai peluang yang besar untuk meningkatkan perolehan minyak di Indonesia. Hal ini didukung oleh lapangan minyak di Indonesia umumnya tergolong minyak ringan, serta sumber CO₂ yang melimpah, seperti di lapangan natuna sebesar 157 TCF, *natural gas processing* sebesar 132,5 MMSCFD, *oil and gas processing* sebesar 899,41 MMSCFD dan *power plant* sebesar 5,918 MMSCFD (Abdurrahman et al., 2013).

Injeksi CO₂ sudah direncanakan di Indonesia pada Blok III/Zona F Lapangan Jatibarang yang menghasilkan *oil recovery* yang signifikan secara bertahap. Skema injeksi yang menghasilkan 45,82% perolehan minyak, terdapat peningkatan 24,62% terhadap *Primary Recovery* dan tambahan 9,13% untuk *water flooding* (Suarsana, Marhaendrajana, & Gunadi, 2005).

2.2 Faktor Penurunan *Minimum Miscibility Pressure*

Sebelum dilakukan injeksi gas CO₂, perlu diketahui nilai *minimum miscibility pressure*. MMP didefinisikan sebagai tekanan terendah yang dibutuhkan agar fluida pendesak dapat bercampur dengan fluida reservoir. Penentuan MMP pada proses injeksi CO₂ sangat penting karena pada tekanan tercampur minimum,

gas injeksi dan minyak bercampur melalui suatu kontak ganda (*multipple-contact miscibility*) dan proses pendesakan menjadi sangat efisien.

2.2.1 Temperatur Reservoir

Perolehan nilai MMP sangat dipengaruhi oleh temperatur reservoir, hal ini telah dibuktikan oleh penelitian yang dilakukan oleh (Yelling dan Metcalfe 1980). Dimana mereka melakukan penelitian terhadap pengaruh temperatur pada harga MMP, dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi temperatur reservoir semakin besar MMP. Sebaliknya semakin rendah temperatur reservoir semakin rendah pula nilai MMP. Pengaruh temperatur terhadap nilai MMP juga dapat dilihat pada penelitian yang dilakukan oleh (Muslim & Permadi, 2015).

2.2.2 Komposisi Minyak

Holm, Union dan Co (1982) melakukan pengamatan terhadap pengaruh komposisi minyak terhadap perubahan nilai MMP. Semakin besar temperatur reservoir semakin besar fraksi mol dari komponen C_5-C_{10} makin besar nilai MMP yang diperlukan untuk terjadinya *miscibility*. Sebaliknya semakin besar fraksi mol dari komponen C_1-C_4 makin kecil nilai MMP.

2.2.3 Campuran Gas injeksi

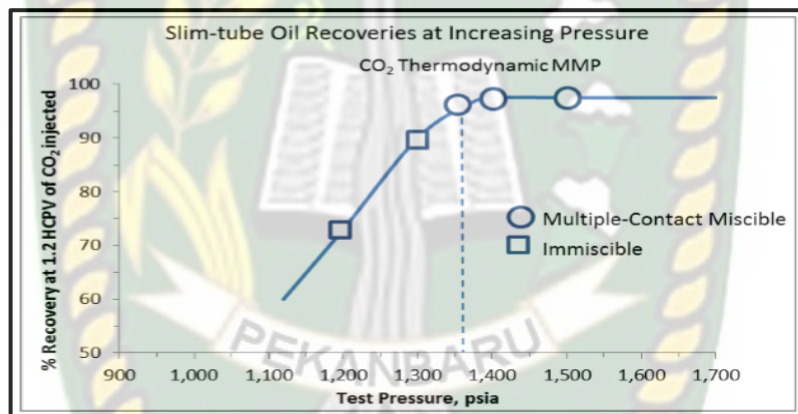
Gas CO_2 dapat diinjeksikan dengan konsentrasi 100% atau dicampur dengan gas lain kedalam reservoir. Campuran gas CO_2 dengan gas lain dapat mempengaruhi nilai MMP. Telah dibuktikan bahwa campuran gas CO_2 dengan etana, propana, dan butana dapat menurunkan nilai MMP, yang dapat dilihat pada penelitian sebelumnya (Abdurrahman & Permadi, 2016). Sedangkan campuran gas CO_2 dengan nitrogen dapat meningkatkan nilai MMP, hal ini dapat dilihat ada penelitian (Vahidi dan Zargar, 2007). Sedangkan untuk campuran gas CO_2 dengan metana dapat dilihat pada penelitian Abdurrahman & Permadi (2016), yang mengemukakan bahwa campuran gas CO_2 dan metana dapat meningkatkan perolehan nilai MMP.

2.3 Mekanisme injeksi CO_2

Miscibility adalah parameter yang sangat penting dalam injeksi CO_2 , dikarenakan *miscibility* dapat meningkatkan *displacement efficiency* dan perolehan minyak (Langlo, 2013). Faktor ini sangat dipengaruhi oleh MMP (*minimum miscible pressure*). MMP adalah tekanan saat CO_2 sepenuhnya menjadi tercampur

dengan minyak. Pada tekanan tersebut, densitas CO₂ hampir sama terhadap minyak mentah tersebut. Nilai MMP tergantung pada komposisi minyak, kemurnian gas CO₂, serta tekanan dan temperatur reservoir (Al-Netaifi, 2008).

Penelitian telah dilakukan untuk melihat pengaruh kemurnian gas CO₂ terhadap nilai MMP. Apabila gas CO₂ dicampur dengan gas Nitrogen, Metana dan Etana dengan komposisi 60% gas CO₂ dan 40% untuk masing-masing gas pencampur, dapat meningkatkan perolehan nilai MMP (Muslim & Permadi, 2015). Sedangkan untuk campuran gas CO₂ dengan gas propane, dengan komposisi yang sama dengan gas sebelumnya dapat menurunkan perolehan nilai MMP (Muslim & Permadi, 2015). Pada gambar 2.3 menyatakan bahwa perolehan minyak meningkat dengan peningkatan tekanan, kemudian grafik mendatar ketika MMP tercapai (Verma, 2015).



Gambar 2.2 Perolehan minyak meningkat pada peningkatan tekanan untuk komposisi minyak dan temperatur yang konstan (Verma, 2015)

Berdasarkan kondisi *Miscibility*, dimana mekanisme injeksi CO₂ dapat di bagi menjadi sebagai berikut, yaitu:

2.3.1 *Miscible Displacement*

Ketika tekanan tercampur dapat dicapai dan dipertahankan selama proses perpindahan, dimana CO₂ dan minyak membentuk sebuah fasa tunggal. Mekanisme *miscible displacement* terdiri atas dua tahapan (Melby, 2014), yaitu:

1. *Vaporizing Gas Drive*

Suatu proses injeksi gas melewati reservoir minyak pada komponen menengah diantara C₅ hingga C₁₂ dan mengekstraksi fraksi tersebut, metode ini cocok untuk minyak ringan.

2. *Condensing Gas Drive*

Ketika gas diinjeksikan, *miscible bank* akan terbentuk melalui kondensasi komponen menengah dari gas ke dalam minyak. Namun, apabila terjadi kehilangan tekanan akan mengakibatkan kondensasi gas ke dalam minyak akan kecil. Kondensasi ini menyebabkan minyak lebih ringan dan mendorong metana keluar untuk menuju ke oil bank.

2.3.2 *Near Miscible Displacement*

Ketika tekanan tercampur tidak dapat dicapai yang dikarenakan antara faktor teknis atau ekonomis, dimana injeksi CO₂ dievaluasi sebagai *near miscible*. Proses *near miscible* terjadi diantara perpindahan *miscible* dan *immiscible*. Pada umumnya untuk kasus perpindahan *near miscible*, perolehan minyak yang didapat kecil apabila dibandingkan dengan kondisi *miscible* (Yin, 2015).

2.3.3 *Immiscible Displacement*

Ketika tekanan reservoir tidak mampu untuk mencapai MMP, CO₂ dan minyak tidak membentuk sebuah fasa tunggal. Mekanisme ini hampir sama dengan proses *miscible displacement*, dikarenakan pengembangan minyak karena CO₂ masuk ke dalam larutan yang ditunjukkan untuk membantu melepaskan minyak tersisa yang terperangkap, tepatnya pada *oil gravity* yang tinggi. Walaupun MMP tidak dapat dicapai, laju perolehan minyak tinggi masih dapat dicapai yang disebabkan oleh pengembangan minyak karena menjadi tersaturasi dengan CO₂, penurunan tegangan antar muka, penurunan viscositas, dan sebagai *solution gas drive* untuk mekanisme pendorong utama (Yin, 2015).

2.4 *Metode Penentuan Nilai MMP (Minimum Miscibility Pressure)*

Dalam metode injeksi gas CO₂ tercampur, terdapat dua jenis kontak *miscibility* dimana penginjeksian CO₂ dilakukan dengan sekali test dengan mematokan tekanan yang lebih tinggi, sedangkan *Multi Contact Miscibility* penginjeksian CO₂ yang dilakukan berkali-kali sehingga ditemukan titik tercampurnya (Setiati, 2015). Oleh karena itu terdapat beberapa metode yang dapat digunakan untuk menentukan nilai MMP.

2.4.1 *Uji Laboratorium*

Uji laboratorium dilakukan dengan cara eksperimen *Slim tube* untuk mengetahui besaran MMP. *Slim tube* merupakan salah satu teknik yang paling

umum digunakan dan diterima secara luas sebagai metode standar untuk menentukan MMP dalam industri minyak bumi (Zendehboudi, Ahmadi, Bahadori, Shafiei, & Babadagli, 2013). Serta juga dapat digunakan untuk mengukur oil recovery dan waktu terjadinya *breakthrough* (Bon, Sarma, & Theophilos, 2005). Definisi *Slim-tube* itu sendiri adalah sebuah pipa *stainless steel* yang berdiameter kecil dengan panjang beragam dan didalamnya berisi pasir kwarsa dengan permeabilitas serta porositas yang homogen (Muslim & Permadi, 2015).

2.4.2 Metode Korelasi.

Untuk menentukan estimasi MMP beberapa korelasi empiris diusulkan dalam literatur. Faktor kunci yang berkontribusi dalam besarnya MMP adalah suhu pembentukan, komposisi minyak dan komponen gas injeksi (Zendehboudi et al., 2013). Akurasi korelasi tergantung dari berbagai komposisi di mana korelasi itu diperoleh. Secara umum korelasi diklasifikasikan menjadi dua kelompok, termasuk CO₂ murni dan campuran gas yang mengandung hidrokarbon dan CO₂ (Yuan, Johns, Egwuenu, & Dindoruk, 2004).

2.4.3 Simulasi Numerik

Simulasi numerik adalah satu alat untuk memprediksi nilai MMP dengan model satu-dimensi (Zendehboudi et al., 2013). Data yang dimasukkan kedalam model simulasi disesuaikan dengan data eksperimen. Simulator yang dapat digunakan adalah CMG Versi 2013 (Muslim & Permadi, 2015). Salah satu alasan penggunaan simulasi numerik untuk menentukan MMP dikarenakan lebih cepat dan lebih efisien (Abdurrahman & Permadi, 2016). Namun berbeda menurut (Alexander et al., 2017) yaitu karena hasil perhitungan nilai MMP menggunakan simulasi numerik dari software CMG memiliki kesalahan dibawah 5% dari hasil MMP uji coba *slim-tube*.

2.4.4 Persamaan Keadaan (EOS)

Penentuan nilai MMP pada metode persamaan keadaan dapat dilakukan pada *software* CMG tool winprop. *Software* ini menggunakan dua persamaan dasar yaitu Redlich-Kwong (1971) dan Peng-Robinson (1978). Dari kedua persamaan ini dimana persamaan Peng-Robinson dapat memberikan kecocokan yang lebih dekat dan dapat diterima keakuratannya, ditambah kesalahan relative rendah berkisar antara 0,45% sampai 4,14% (Ashrafizadeh & Ghasrodashti, 2011). Oleh karena itu

untuk menentukan besaran MMP dapat menggunakan Metode EOS pada “tool” yang tersedia pada *software* CMG yaitu Winprop Versi 2013 dengan persamaan Peng-Robinson (Muslim & Permadi, 2015). Berikut persamaan PR-EOS yang dapat digunakan menurut (zhang et al., 2018).

$$P = \frac{RT}{v - b} - \frac{a}{v(v + b) + b(v - b)}$$

Dimana :

$$a = \frac{0.45724R^2T_c^2}{P_c} \alpha(T)$$

$$b = \frac{0.778RT_c}{P_c}$$

$$\alpha(T) = [1 + m(1 - \sqrt{T_r})]^2$$

$$m = 0.37464 + 1.54226\omega - 0.26992\omega^2$$

Keterangan :

P : Pressure

T : Temperatur

R : Konstanta gas universal

v : Volume molar

a : Konstanta EOS

b : Konstanta EOS

T_c : Temperatur kritis

P_c : Pressure kritis

ω : Faktor aksenik

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian.

Penelitian ini dilakukan menggunakan simulasi dengan permodelan yang menggunakan *software* CMG (*Computer Modeling Group*). Data yang digunakan adalah data primer yang bersumber dari data lapangan KLM serta data sekunder yang bersumber dari buku, jurnal, dan prosiding sesuai dengan topik penelitian.

3.2 Jenis penelitian.

Jenis penelitian yang dilakukan adalah penelitian simulasi. Adapun data yang digunakan untuk mendukung kelancaran penelitian ini, maka penulis menggunakan beberapa data yang mana nanti akan digunakan untuk melakukan penelitian.

1. Komposisi minyak pada lapangan KLM

Tabel 3.1 Komposisi minyak

Komponen	MW (g/mol)	Specific Gravity	Persen Mol
Carbon dioksida	44.01	0.818	0.047
Nitrogen	28.013	0.809	0.159
Methana	16.043	0.3	33.028
Ethana	30.07	0.356	2.191
Propana	44.097	0.507	2.163
I-Butane	58.124	0.563	0.496
N-Butane	58.124	0.584	1.479
I-Pentane	72.151	0.625	0.693
N-Pentane	72.151	0.631	0.955
C6	86	0.69	2.752
C7	96	0.727	2.219
C8	107	0.749	2.481
C9	121	0.768	1.198
C10	134	0.782	1.919
C11	147	0.793	1.601

C12	161	0.804	1.395
C13	175	0.815	1.283
C14	190	0.826	1.208
C15	206	0.836	1.123
C16	222	0.843	2.041
C17	237	0.851	1.423
C18+	300	0.865	38.146
Total			100

Sumber : (PT. Chevron Pacific Indonesia Lapangan KLM)

2. Karakteristik minyak dan data Reservoir

Tabel 3.2 Karakteristik Minyak dan Data Reservoir

Karakteristik	Nilai
API Gravity	32
Densitas kg/m ³	864,15
Kedalaman, m	1810
Permeabilitas, md	300
Porositas	0.25
P _r , psia	1835
Viscositas, cp	2,3
Temperature, °F	165

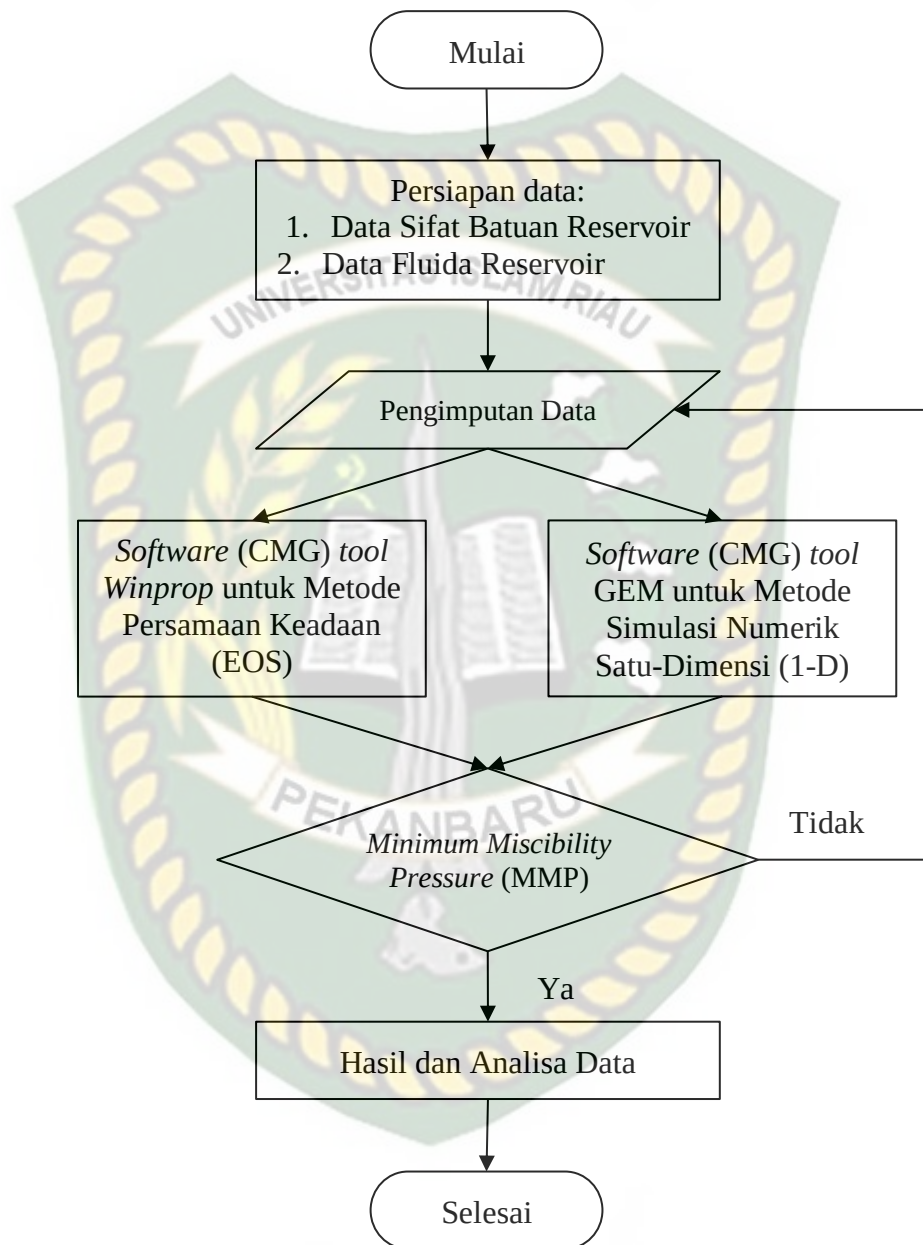
Sumber : (PT. Chevron Pacific Indonesia Lapangan KLM)

3. Scenario penelitian

Pada studi ini, metode persamaan keadaan (EOS) dan simulasi numerik satu dimensi (1D) dilakukan untuk mengetahui nilai MMP pada setiap campuran kemurnian komposisi CO₂ dikarenakan kemurnian CO₂ adalah salah satu parameter yang berpengaruh didalam variasi nilai MMP. Adapun variasi fluida injeksi yang dilakukan dalam percobaan ini adalah 100% CO₂. Campuran CO₂ + N₂ dengan komposisi 90%:10%, 80%:20%, 70%:30%, dan 60%:40%. Campuran CO₂ + CH₄ dengan komposisi 90%:10%, 80%:20%, 70%:30%, dan 60%:40%. Campuran CO₂ + C₂H₆ dengan komposisi 90%:10%, 80%:20%, 70%:30%, dan 60%:40%.

Campuran $\text{CO}_2 + \text{C}_3\text{H}_8$ dengan komposisi 90%:10%, 80%:20%, 70%:30%, dan 60%:40%.

3.3 Flowchart Penelitian



Gambar 3.1 Flowchart penelitian

3.4 Tempat Penelitian

Pada kesempatan ini penulis berencana akan melakukan penelitian di Laboratorium Teknik Perminyakan bidang Reservoir Universitas Islam Riau yang terdiri dari Laboratorium Simulasi Reservoir dengan menggunakan *Software* CMG.

3.5 Jadwal Penelitian

Pada penelitian ini akan dilakukan selama 2 bulan dimulai dari Desember 2019 s/d Februari 2020.

Tabel 3.3 Jadwal Penelitian

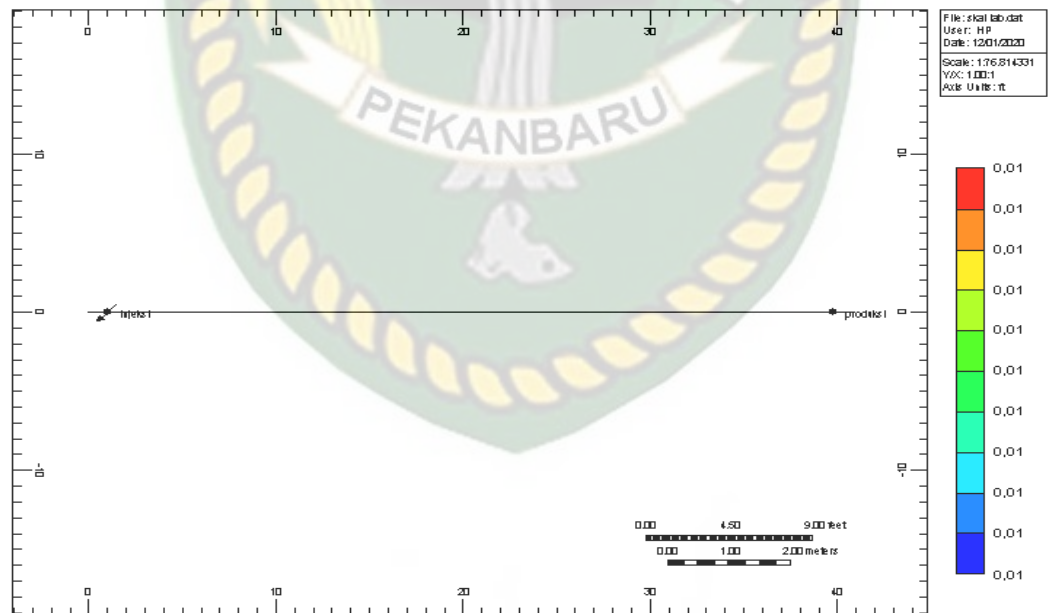
Kegiatan	Waktu Pelaksanaan (Minggu)							
	Bulan Ke-1				Bulan Ke-2			
	Ke-1	Ke-2	Ke-3	Ke-4	Ke-5	Ke-6	Ke-7	Ke-8
Persiapan dan Pemasukan Data								
Melakukan pengujian untuk mengetahui nilai MMP dengan Metode Persamaan Keadaan (EOS) pada <i>Software</i> (CMG) <i>tool</i> Winprop								
Melakukan pengujian untuk mengetahui nilai MMP dengan Metode Simulasi Numerik Satu-Dimensi (1D) pada <i>Software</i> (CMG) <i>tool</i> GEM								
Mengolah dan Menganalisis Hasil Penelitian								

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Perolehan Nilai MMP Menggunakan Metode Simulasi Numerik Satu-Dimensi (1D) dan Metode Persamaan Keadaan (EOS).

Sebelum dilakukan injeksi gas CO₂ perlu diketahui nilai *minimum miscibility pressure*. Karena nilai MMP digunakan untuk mengetahui besarnya tekanan minimum yang diperlukan agar gas yang diinjeksikan dapat tercampur dengan minyak pada kondisi reservoir. Umumnya standar metode yang digunakan untuk mengetahui nilai MMP adalah dengan cara eksperimen *slimtube*, namun memerlukan biaya yang besar dan waktu yang panjang (Abdurrahman & Permadi, 2016). Dalam penelitian ini, dimana metode yang digunakan untuk menentukan nilai MMP adalah simulasi numerik satu-dimensi dan persamaan keadaan. Karena dua metode ini dapat memberikan kecocokan yang lebih dekat dan dapat diterima keakuratannya, ditambah kesalahan relatif rendah berkisar antara 0,45% sampai 5,00% bila dibandingkan dengan eksperimen *slimtube* (Alexander et al., 2017).



Gambar 4.1 Model Simulasi Numerik 1-D

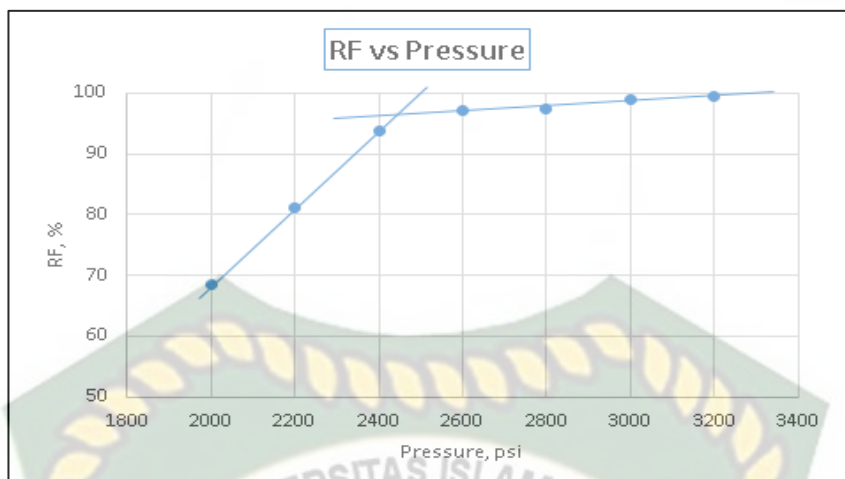
Proses pembangunan model simulasi numerik satu-dimensi pada studi ini dilakukan beberapa tahapan pengerjaan diantaranya tahapan pengumpulan data, tahapan pembuatan model simulasi numerik 1-D. Pembuatan model satu-dimensi

dimana model tersebut dibuat untuk meniru keadaan *slimtube* seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.1, dengan ukuran grid $20 \times 1 \times 1$ pada skala arah-i = $20 \times 2,04$ ft, arah-j = $1 \times 0,013267$ ft dan ketebalan grid = $0,013267$ ft. Model *slimtube* pada penelitian ini dapat dilihat pada penelitian sebelumnya yaitu Muslim & Permadi (2016). Selanjutnya tahapan pengimputan data, data yang diimput antara lain: porositas, permeabilitas, komposisi minyak, sifat fisik minyak, temperatur reservoir dan tekanan. Berikutnya proses running dilakukan, maka akan memperoleh nilai RF, nilai RF ini akan di plot kedalam grafik RF vs tekanan, garis perpotongan antara tekanan yang mengalami peningkatan dengan yang sudah stabil menunjukkan nilai MMP.

Perhitungan dalam menentukan besaran nilai MMP untuk gas injeksi CO₂ murni, dilakukan percobaan dengan tekanan injeksi 2000-3200 psi pada 1.2 PV fluida injeksi. Percobaan ini dilakukan menggunakan *software* CMG tool GEM yang mana dari masing-masing tekanan injeksi yang disimulasikan diperoleh nilai RF. Tabel 4.1 merupakan hasil dari percobaan pada masing-masing tekanan fluida injeksi. Selanjutnya dilakukan plot kedalam grafik RF vs tekanan, yang dapat dilihat pada gambar 4.2. Gambar tersebut memperlihatkan garis perpotongan antara tekanan yang tidak stabil dengan tekanan yang sudah stabil, garis perpotongan tersebut merupakan besaran nilai MMP, dimana nilai MMP yang diperoleh dengan gas injeksi CO₂ murni sebesar 2430 psi.

Tabel 4.1 Recovery Factor pada setiap tekanan injeksi CO₂ 100%

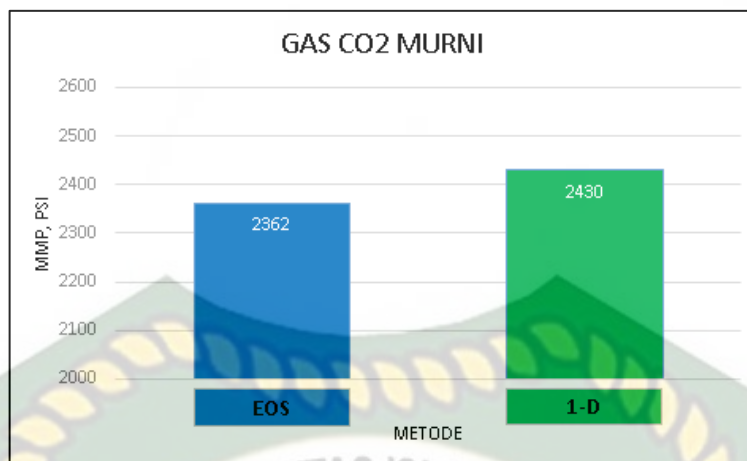
PRESSURE (psi)	RECOVERY FACTOR
2000	68,56
2200	81,27
2400	93,81
2600	97,02
2800	97,34
3000	98,88
3200	99,47



Gambar 4.2 Hasil Perolehan nilai MMP Gas CO₂

Metode persamaan keadaan adalah salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengetahui nilai MMP. Penelitian ini, menggunakan persamaan Peng-Robinson (1978), karena persamaan Peng-Robinson dapat memberikan kecocokan yang lebih dekat dan dapat diterima keakuratannya menurut (Ashrafizadeh & Ghasrodashti, 2011). Adapun tahapan pengerjaan yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut: Tahapan pertama, melakukan proses pengimputan data komposisi minyak, tekanan dan temperatur reservoir yang disesuaikan dengan data penelitian. Berikutnya melakukan pengimputan data komposisi gas injeksi. Setelah dilakukan running, maka akan memperoleh besaran nilai MMP dari *Output* pada *software* CMG *tool* Winpprop berdasarkan komposisi minyak, temperatur dan komposisi gas injeksi yang telah ditentukan.

Hasil perhitungan nilai MMP untuk gas CO₂ murni menggunakan metode persamaan keadaan dengan konsentrasi 100% pada temperatur 165 °F diperoleh sebesar 2362 psi. Nilai MMP diperoleh dari *Output* Winprop yang terlihat pada lampiran-I gambar 1 sampai 12. Gambar 1 sampai 12 merupakan rangkaian *ternary* diagram yang menunjukkan proses terjadinya *miscibility* untuk gas CO₂, yang mana nanti akan memperlihatkan perolehan nilai MMP. Gambar 11 pada tekanan 2362 psi, memperlihatkan pertemuan antara fasa *liquid* dan fasa *vapor* ini menyatakan nilai MMP berada pada tekanan tersebut.



Gambar 4.3 Hasil Perolehan Nilai MMP dari Gas CO₂ murni

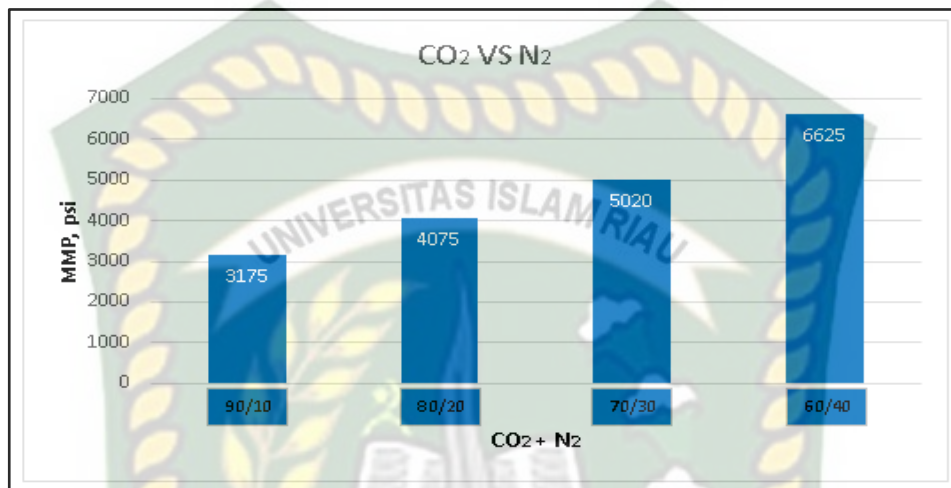
Gambar 4.3 merupakan hasil perolehan nilai MMP dari simulasi numerik satu-dimensi dan metode persamaan keadaan (EOS). Lebih lanjut, penelitian ini memperlihatkan perolehan nilai MMP yang berbeda pada masing-masing metode, perbedaan tersebut sebesar 2,80%. Perbedaan nilai MMP dari metode simulasi numerik satu-dimensi dan metode persamaan keadaan disebabkan oleh perbedaan kondisi fluida, dimana metode simulasi numerik satu dimensi menggunakan fluida dinamis sedangkan metode persamaan keadaan menggunakan fluida statis. Penelitian ini juga dapat dilihat pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Muslim & Permadi, 2015).

4.2 Analisis Pengaruh Campuran Gas CO₂ dengan Gas Lainnya Terhadap Nilai MMP.

4.2.1 Gas CO₂ + Gas Nitrogen

Perolehan nilai MMP untuk campuran gas CO₂ + gas nitrogen dengan harga konsentrasi 90%:10%, 80%:20%, 70%:30%, dan 60%:40% pada temperatur 165 °F dapat dilihat pada gambar 4.4. Perolehan nilai MMP untuk campuran gas CO₂ dengan gas nitrogen diperoleh dari *Ouput* Winpprop yang memperlihatkan proses *miscibility* yang terjadi pada campuran gas ini. Lampiran II gambar 14 sampai 25 merupakan rangkaian *ternary* diagram yang menunjukkan proses terjadinya *miscibility* untuk campuran gas CO₂ dengan gas nitrogen, yang mana nanti akan memperlihatkan nilai MMP. Perolehan nilai MMP dapat dilihat dari pertemuan antara fasa *liquid* dan fasa *vapor*. Gambar 14 sampai 16 menunjukkan proses *miscibility* yang terjadi pada harga komposisi 90%:10% sebesar 3175 psi. Gambar

17 sampai 19 menunjukkan proses *miscibility* yang terjadi pada harga komposisi 80%:20% sebesar 4075 psi. Gambar 20 sampai 22 menunjukkan proses *miscibility* yang terjadi pada harga komposisi 70%:30% sebesar 5020 psi. Gambar 23 sampai 25 menunjukkan proses *miscibility* yang terjadi pada harga komposisi 60%:40% sebesar 6625 psi.



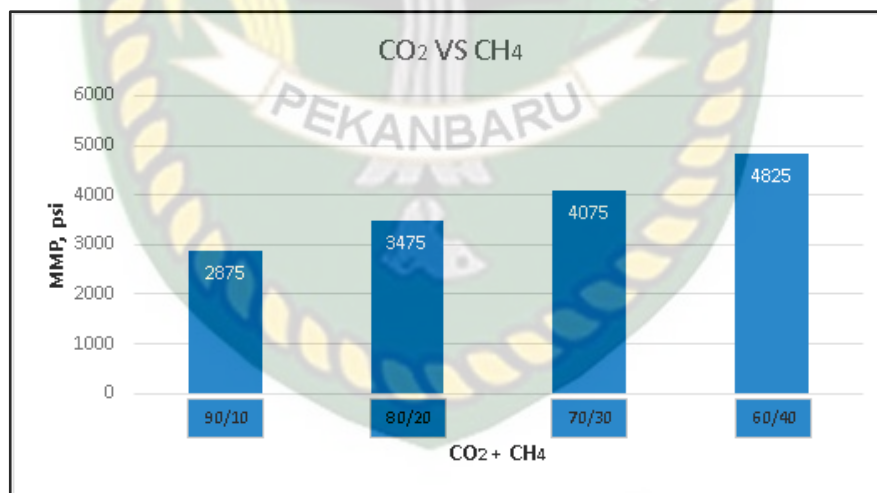
Gambar 4.4 Hasil Perolehan Nilai MMP Gas CO₂ + Gas Nitrogen

Gambar 4.4 memperlihatkan semakin besar jumlah persen mol N₂ yang dicampur dengan CO₂ maka akan meningkatkan nilai MMP. Sebagai contoh, dengan menambahkan 10% N₂ dapat meningkatkan nilai MMP sebesar 813 psi, penambahan 20% N₂ meningkatkan nilai MMP sebesar 1713 psi, penambahan 30% N₂ meningkatkan nilai MMP sebesar 2658 psi, sedangkan untuk penambahan 40% N₂ dapat meningkatkan nilai MMP sebesar 4263 psi.

Peningkatan nilai MMP pada campuran gas CO₂ dengan N₂ dikarenakan densitas N₂ pada temperatur dan tekanan reservoir sangat kecil. Sebagai contoh, densitas N₂ pada temperatur dan tekanan reservoir di peroleh sebesar 118,04 kg/m³ dapat dilihat pada lampiran VI, densitas CO₂ diperoleh sebesar 368,95 kg/m³ dapat dilihat pada lampiran VII, sedangkan densitas minyak sebesar 864,15 kg/m³. Apabila gas CO₂ di campur dengan N₂ maka dapat menurunkan densitas gas injeksi. Oleh karena itu, memerlukan tekanan yang tinggi untuk terjadinya proses *miscibility*. Hal ini telah dibuktikan oleh penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Vahidi dan Zargar (2007), dimana mereka mengemukakan bahwa semakin besar konsentarsi (persen mol) N₂ yang dicampurkan dengan CO₂ maka semakin besar pula nilai MMP.

4.2.2 Gas CO₂ + Gas Metana

Perolehan nilai MMP untuk campuran gas CO₂ + gas metana dengan harga konsentrasi 90%:10%, 80%:20%, 70%:30%, dan 60%:40% pada temperatur 165 °F dapat dilihat pada gambar 4.5. Perolehan nilai MMP untuk campuran gas CO₂ dengan gas metana diperoleh dari *Ouput* Winpprop yang memperlihatkan proses *miscibility* yang terjadi pada campuran gas ini. Lampiran III gambar 26 sampai 37 merupakan rangkaian *ternary* diagram yang menunjukkan proses terjadinya *miscibility* untuk campuran gas CO₂ dengan gas metana, yang mana nanti akan memperlihatkan nilai MMP. Perolehan nilai MMP dapat dilihat dari pertemuan antara fasa *liquid* dan fasa *vapour*. Gambar 26 sampai 28 menunjukkan proses *miscibility* yang terjadi pada harga komposisi 90%:10% sebesar 2875 psi. Gambar 29 sampai 31 menunjukkan proses *miscibility* yang terjadi pada harga komposisi 80%:20% sebesar 3475 psi. Gambar 32 sampai 34 menunjukkan proses *miscibility* yang terjadi pada harga komposisi 70%:30% sebesar 4075 psi. Gambar 35 sampai 37 menunjukkan proses *miscibility* yang terjadi pada harga komposisi 60%:40% sebesar 4825 psi.



Gambar 4.5 Hasil Perolehan Nilai MMP Gas CO₂ + Gas Metana

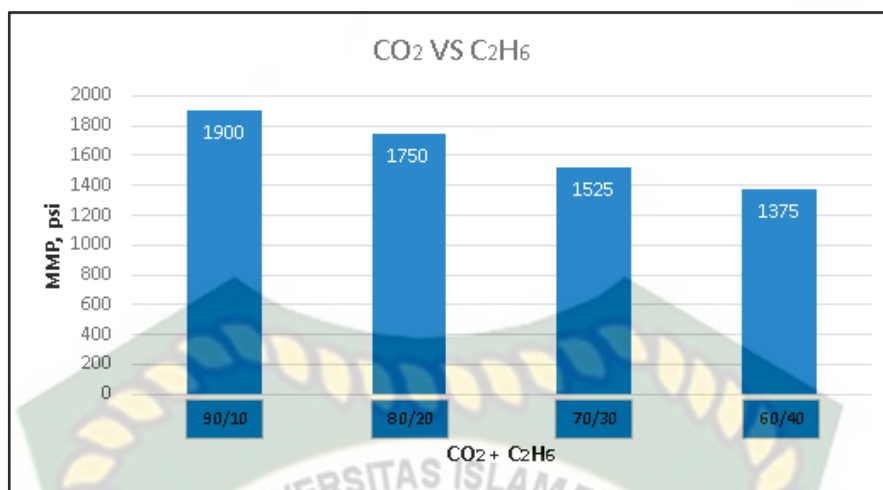
Gambar 4.5 memperlihatkan semakin besar jumlah persen mol CH₄ yang di campur dengan CO₂ maka akan meningkatkan nilai MMP. Sebagai contoh, dengan menambahkan 10% CH₄ dapat meningkatkan nilai MMP sebesar 513 psi, penambahan 20% CH₄ meningkatkan nilai MMP sebesar 1113 psi, penambahan

30% CH₄ meningkatkan nilai MMP sebesar 1713 psi, sedangkan untuk penambahan 40% CH₄ dapat meningkatkan nilai MMP sebesar 2463 psi.

Peningkatan nilai MMP untuk campuran gas CO₂ dengan CH₄ dikarenakan densitas CH₄ pada temperatur dan tekanan reservoir sangat kecil. Sebagai contoh, perolehan densitas CH₄ pada temperatur dan tekanan reservoir diperoleh sebesar 76,19 kg/m³ dapat dilihat pada lampiran VIII, densitas CO₂ diperoleh sebesar 368,95 kg/m³ dapat dilihat pada lampiran VII sedangkan densitas minyak sebesar 864,15 kg/m³. Apabila gas CO₂ di campur dengan CH₄ maka dapat menurunkan densitas gas injeksi. Oleh karena itu, memerlukan tekanan yang tinggi untuk terjadinya proses *miscibility*. Peningkatan nilai MMP sangat dipengaruhi oleh komposisi minyak dan komposisi gas injeksi. Hal ini juga telah dibuktikan oleh Zhang et al., (2004) yang melakukan penelitian terhadap CO₂ *impurity*, dan mendapatkan hasil bahwa nilai MMP semakin meningkat seiring bertambahnya jumlah konsentrasi (persen mol) CH₄.

4.2.3 Gas CO₂ + Gas Etana

Perolehan nilai MMP untuk campuran gas CO₂ + gas etana dengan harga konsentrasi 90%:10%, 80%:20%, 70%:30%, dan 60%:40% pada temperatur 165 °F dapat dilihat pada gambar 4.6. Perolehan nilai MMP untuk campuran gas CO₂ dengan gas etana diperoleh dari *Ouput* Winpprop yang memperlihatkan proses *miscibility* yang terjadi pada campuran gas ini. Lampiran IV gambar 38 sampai 49 merupakan rangkaian *ternary* diagram yang menunjukkan proses terjadinya *miscibility* untuk campuran gas CO₂ dengan gas etana, yang mana nanti akan memperlihatkan nilai MMP. Perolehan nilai MMP dapat dilihat dari pertemuan antara fasa *liquid* dan fasa *vapor*. Gambar 38 sampai 40 menunjukkan proses *miscibility* yang terjadi pada harga komposisi 90%:10% sebesar 2500 psi. Gambar 41 sampai 43 menunjukkan proses *miscibility* yang terjadi pada harga komposisi 80%:20% sebesar 2500 psi. Gambar 44 sampai 46 menunjukkan proses *miscibility* yang terjadi pada harga komposisi 70%:30% sebesar 2575 psi. Gambar 47 sampai 49 menunjukkan proses *miscibility* yang terjadi pada harga komposisi 60%:40% sebesar 2575 psi.



Gambar 4.6 Hasil Perolehan Nilai MMP Gas CO₂ + Gas Metana

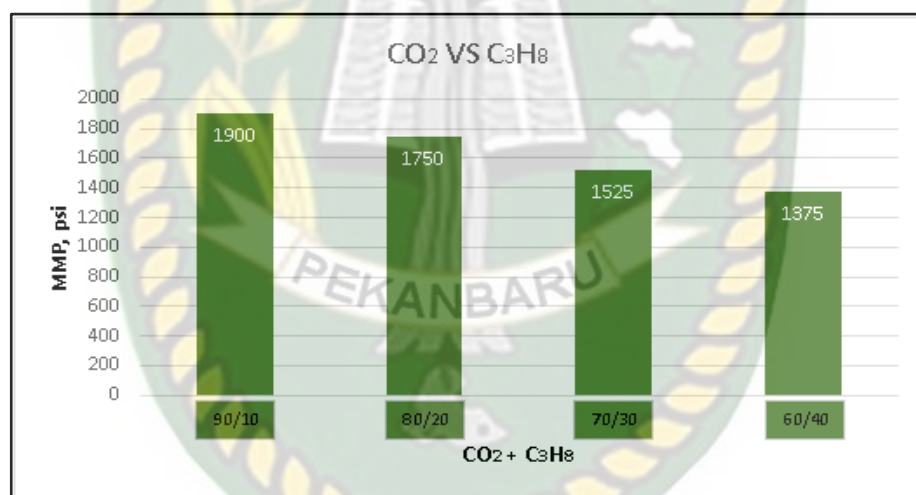
Gambar 4.6 memperlihatkan semakin besar jumlah persen mol C₂H₆ yang dicampur dengan CO₂ maka akan meningkatkan nilai MMP, namun peningkatannya tidak signifikan bila dibandingkan campuran CO₂ + N₂ dan CO₂ + CH₄ dengan komposisi yang sama. Sebagai contoh, dengan menambahkan 10% C₂H₆ dapat meningkatkan nilai MMP sebesar 138 psi, penambahan 20% C₂H₆ meningkatkan nilai MMP sebesar 138 psi, penambahan 30% C₂H₆ meningkatkan nilai MMP sebesar 213 psi, sedangkan untuk penambahan 40% C₂H₆ dapat meningkatkan nilai MMP sebesar 213 psi.

Untuk campuran gas CO₂ dengan C₂H₆ dimana peningkatan nilai MMP tidak terlalu signifikan, dikarenakan densitas C₂H₆ pada temperatur dan tekanan reservoir mendekati densitas CO₂. Perolehan densitas C₂H₆ pada temperatur dan tekanan reservoir di peroleh sebesar 272,99 kg/m³ dapat dilihat pada lampiran IX, densitas CO₂ diperoleh sebesar 368,95 kg/m³ dapat dilihat pada lampiran VII sedangkan densitas minyak sebesar 864,15 kg/m³. Apabila gas CO₂ di campur dengan C₂H₆ maka penurunan densitas gas injeksi tidak terlalu signifikan. Oleh karena itu, tidak memerlukan tekanan yang sangat tinggi untuk terjadinya proses *miscibility*. Gas metana sangat sensitif terhadap N₂, dan tidak boleh digunakan ketika konsentrasi N₂ melebihi 8% (Alston, et al., 1985).

4.2.4 Gas CO₂ + Gas Propana

Perolehan nilai MMP untuk campuran gas CO₂ + gas propana dengan harga konsentrasi 90%:10%, 80%:20%, 70%:30%, dan 60%:40% pada temperatur 165 °F

dapat dilihat pada gambar 4.7. Perolehan nilai MMP untuk campuran gas CO₂ dengan gas propana diperoleh dari *Ouput* Winpprop yang memperlihatkan proses *miscibility* yang terjadi pada campuran gas ini. Lampiran V gambar 50 sampai 61 merupakan rangkaian *ternary* diagram yang menunjukkan proses terjadinya *miscibility* untuk campuran gas CO₂ dengan gas propana, yang mana nanti akan memperlihatkan nilai MMP. Perolehan nilai MMP dapat dilihat dari pertemuan antara fasa *liquid* dan fasa *vapor*. Gambar 50 sampai 52 menunjukkan proses *miscibility* yang terjadi pada harga komposisi 90%:10% sebesar 1900 psi. Gambar 53 sampai 55 menunjukkan proses *miscibility* yang terjadi pada harga komposisi 80%:20% sebesar 1750 psi. Gambar 56 sampai 58 menunjukkan proses *miscibility* yang terjadi pada harga komposisi 70%:30% sebesar 1525 psi. Gambar 59 sampai 61 menunjukkan proses *miscibility* yang terjadi pada harga komposisi 60%:40% sebesar 1375 psi.



Gambar 4.7 Hasil Perolehan nilai MMP gas CO₂ + Gas Propana

Gambar 4.7 memperlihatkan semakin besar jumlah persen mol C₃H₈ yang dicampur dengan CO₂ maka dapat menurunkan nilai MMP secara signifikan. Sebagai contoh, dengan menambahkan 10% C₃H₈ dapat menurunkan nilai MMP sebesar 462 psi, penambahan 20% C₃H₈ menurunkan nilai MMP sebesar 612 psi, penambahan 30% C₃H₈ menurunkan nilai MMP sebesar 837 psi, sedangkan untuk penambahan 40% C₃H₈ dapat menurunkan nilai MMP sebesar 987 psi.

Penurunan nilai MMP untuk campuran gas CO₂ dengan C₃H₈ dikarenakan densitas C₃H₈ pada temperatur dan tekanan reservoir lebih besar dari densitas CO₂

dan mulai mendekati densitas minyak. Perolehan densitas C_3H_8 pada temperatur dan tekanan reservoir diperoleh sebesar $443,02 \text{ kg/m}^3$ dapat dilihat pada lampiran X, densitas CO_2 diperoleh sebesar $368,95 \text{ kg/m}^3$ dapat dilihat pada lampiran VII sedangkan densitas minyak sebesar $864,15 \text{ kg/m}^3$. Apabila gas CO_2 di campur dengan C_3H_8 maka dapat meningkatkan densitas gas injeksi. Oleh karena itu, proses *miscibility* dapat terjadi pada tekan yang rendah. Penurunan nilai MMP pada campuran gas CO_2 dengan gas propana sangat dipengaruhi oleh komposisi minyak dan komposisi gas injeksi. Hal ini telah dibuktikan oleh peneliti sebelumnya yang dilakukan oleh Muslim & Permadi (2016), dimana hasil penelitiannya menunjukkan nilai MMP semakin menurun setiap penambahan konsentrasi (persen mol) gas propana.

Penelitian ini, memperlihatkan dengan jelas bahwa campuran gas CO_2 dengan gas lainnya dapat mempengaruhi perolehan nilai MMP. Lebih lanjut, penelitian ini menunjukkan bahwa campuran gas CO_2 dengan nitrogen, metana, dan etana dapat meningkatkan nilai MMP. Sedangkan campuran gas CO_2 dengan propana dapat menurunkan perolehan nilai MMP seperti telah ditunjukkan oleh (Muslim & Permadi 2016). Penelitian ini juga menunjukkan pengaruh komposisi minyak dan komposisi gas injeksi terhadap nilai MMP. Komponen CH_4 dan N_2 yang terkandung didalam minyak mempunyai pengaruh terhadap nilai MMP. Semakin besar konsentrasi komponen CH_4 dan N_2 di dalam minyak akan mempengaruhi nilai MMP. Hasil ini memberikan konfirmasi terhadap penelitian sebelumnya yaitu (Alston, et al., 1985).

Terlihat dengan jelas pada penelitian ini bahwa campuran gas CO_2 dengan gas lainnya dapat mempengaruhi perolehan nilai MMP. Pengaruh yang memperlihatkan kenaikan secara signifikan berada pada campuran gas CO_2 dengan gas nitrogen, campuran gas ini dapat meningkatkan nilai MMP sebesar 280,50%. Sedangkan untuk campuran gas CO_2 dengan gas propana dapat menurunkan nilai MMP secara signifikan yaitu sebesar 41,75%.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, maka kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Perolehan nilai MMP untuk gas CO₂ murni dengan menggunakan metode persamaan keadaan (EOS) didapat sebesar 2362 psi. Sedangkan untuk metode simulasi numerik satu dimensi (1-D) sebesar 2430 psi. Lebih lanjut, penelitian ini juga memperlihatkan selisih perolehan nilai MMP dari kedua metode yang digunakan untuk gas CO₂ murni sebesar 2,80%.
2. Campuran gas CO₂ dengan gas nitrogen, etana dan metana dapat meningkatkan nilai MMP, sedangkan campuran gas CO₂ dengan propana dapat menurunkan nilai MMP dengan komposisi yang sama. Dimana peningkatan maksimum terjadi pada campuran gas CO₂ dengan nitrogen yaitu sebesar 280.50%, sedangkan penurunan minimum terjadi pada campuran gas CO₂ dengan propana yaitu sebesar 41,75%.

5.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan yang telah dijabarkan, saran yang diberikan kepada penelitian berikutnya adalah melakukan penelitian tentang pengaruh temperatur terhadap nilai MMP, serta melakukan perhitungan keekonomian untuk *project* injeksi gas CO₂ pada lapangan KLM.

DAFTAR FUSTAKA

- Abdurrahman, M., Bae, W., Permadi, A. K., Am, S., Gunadi, B., Saputra, D. D. S. M., ... Gunadi, T. A. (2013). Opportunities and challenges of CO₂ flooding implementation in Indonesia. *SPE Asia Pacific Oil and Gas Conference and Exhibition*, SPE 165847.
- Abdurrahman, M., & 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. *Jurnal Teknologi Minyak Dan Gas Bumi*, 10(1), 37–46.
- Abdurrahman, M., Permadi, A. K., Bae, W. S., & Masduki, A. (2017). EOR in Indonesia: past, present, and future. *International Journal of Oil, Gas and Coal Technology*, 16(3), 250–270. <https://doi.org/10.1504/ijogct.2017.10007432>
- Al-Netaifi, A. S. (2008). Experimental Investigation of CO₂ - Miscible Oil Recovery at Different Conditions. *Master Thesis*.
- Alexander, J. C., Kasmungin, S., & Setiati, R. (2017). Studi Penentuan Tekanan Tercampur Minimum di Reservoir “ J ” Lapangan “ O ” dengan Injeksi Gas CO₂ Menggunakan Uji Laboratorium Slimtube dan Simulasi CMG. *Prosiding Seminar Nasional Cendekiawan*, 133–139.
- Alston, R. B., Kokolis, G. P., & James, C. F. (1985). CO₂ Minimum Miscibility Pressure :
- Ashrafizadeh, S. N., & Ghasrodashti, A. A. (2011). An investigation on the applicability of Parachor model for the prediction of MMP using five equations of state. *Chemical Engineering Research and Design*, 89(6), 690–696. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2010.10.015>
- Bon, J., Sarma, H. K., & Theophilos, A. M. (2005). An Investigation of Minimum Miscibility Pressure for CO₂ - Rich Injection Gases with Pentanes-Plus Fraction. *SPE International Improved Oil Recovery Conference in Asia Pacific*, SPE 97536.
- Choubineh, A., Helalizadeh, A., Wood, D. A., & Wood, D. A. (2018). The impacts of gas impurities on the minimum miscibility pressure of injected CO₂ -rich gas – crude oil systems and enhanced oil recovery potential. *Petroleum Science*, 8. <https://doi.org/10.1007/s12182-018-0256-8>
- Dong, M., & Huang, S. (2002). Flue gas injection for heavy oil recovery. *Journal of Canadian Petroleum Technology*, 41(9), 44–50. <https://doi.org/10.2118/02-09-04>
- Fardiansyah, I., Finaldhi, E., Graha, S., Harris, M. S. ., & Susianto, A. (2018). *Early Miocene Paleogeography of Central Sumatra Basin: Impact on Reservoir Quality and Distribution of the Upper Sihapas Group, Rokan Block*. (May),

2017. <https://doi.org/10.29118/ipa.50.17.577.g>

Gozalpour, F., Ren, S. R., & Tohidi, B. (2005). CO₂ EOR and storage in oil reservoir. *Oil & Gas Science and Technology*, 60(3), 537–546. <https://doi.org/10.1007/s10750-018-3759-9>

Holm, L. W., Union, S. P. E., & Co, O. (1982). *Effect of Oil Composition on Miscible-Type Displacement by Carbon Dioxide*. (February).

Issever, K., Pamira, A. N., & Tirek, A. (1993). Performance of a heavy-oil field under CO₂ injection, Bati Raman, Turkey. *SPE Reservoir Engineering (Society of Petroleum Engineers)*, 8(4), 256–260. <https://doi.org/10.2118/20883-PA>

Khalil, M., & Biyanto, T. R. (2018). *Optimisasi CO₂ Captured dan Distribusi untuk Enhanced Oil Recovery*.

Langlo, S. A. W. (2013). Enhanced Oil Recovery by CO₂ and CO₂-foam Injected in Fractured Limestone Rocks. *Master's Thesis, The University of Bergen*.

Melby, T. A. (2014). Optimizing CO₂-injection by Compositional Simulation. *Master's Thesis, Institutt for Petroleums Teknologi Og Anvendt Geofysikk*, (June), 223.

Muslim, & Permadi, A. K. (2015). Penentuan Tekanan Tercampur Minimum Pada Lapangan AB-4 dan AB-5 Formasi Air Benakat-Cekungan Sumatra Selatan Berdasarkan Eksperimen, Simulasi, Persamaan Keadaan, dan Korelasi. *Teknologi Minyak Dan Gas Bumi*, 7(1), 53–62.

Saini, D. (2016). Modeling of Pressure Dependence of Interfacial Tension Behaviors of a Complex Supercritical CO₂+ Live Crude Oil System Using a Basic Parachor Expression. *Journal of Petroleum & Environmental Biotechnology*, 7(3), 1–6. <https://doi.org/10.4172/2157-7463.1000>

Setiati, R. (2015). Evaluasi Pengaruh Variasi Komposisi Co₂ Dalam Perolehan Nilai Tekanan Tercampur Minimum. *PETRO*, 2(2).

SKK MIGAS. (2016). Laporan Tahunan. In *Special Task Force for Upstream Oil and Gas Business Activities Republic of Indonesia*.

Stevens, S. H., Kuuskraa, V. A., Gale, J., & Beecy, D. (2001). CO₂ injection and sequestration in depleted oil and gas fields and deep coal seams: Worldwide potential and costs. *Environmental Geosciences*, 8(3), 200–209. <https://doi.org/10.1046/j.1526-0984.2001.008003200.x>

Suarsana, I. P., Marhaendrajana, T., & Gunadi, B. (2005). Gas Injection Programs in PERTAMINA West Java to Obtain Better Recovery: Field Screening, Laboratory and A Simulation Study. *SPE International Improved Oil Recovery Conference in Asia Pacific*, (December 2005), SPE 97507. <https://doi.org/10.2523/97507-ms>

- Terry, R. E. (2001). Enhanced oil recovery. *Encyclopedia of Physical Science and Technology*, 18, 503–518.
- Vahidi, A., Zargar, G., Petroleum, T., & Technology, U. (2007). *SPE 111411 Sensitivity Analysis of Important Parameters Affecting Minimum Miscibility Pressure (MMP) of Nitrogen Injection into Conventional Oil Reservoirs*.
- Verma, M. . (2015). Fundamentals of Carbon Dioxide-Enhanced Oil Recovery (CO₂-EOR)—A Supporting Document of the Assessment Methodology for Hydrocarbon Recovery Using CO₂-EOR Associated with Carbon Sequestration. In U.S. Geological Survey. <https://doi.org/https://dx.doi.org/10.3133/ofr20151071>.
- Yellig, W. F., & Metcalfe, R. S. (1980). Determination and Prediction of CO₂ Minimum Miscibility Pressure. *Journal of Petroleum*, 32, 01.
- Yin, M. (2015). CO₂ Miscible Flooding Application and Screening Criteria. *Master Theses*, 7423.
- Yuan, H., Johns, R. T., Egwuenu, A. M., & Dindoruk, B. (2004). Improved MMP Correlations for CO₂ Floods Using Analytical Gas Flooding Theory. *SPE/DOE Symposium on Improved Oil Recovery*, SPE 89359. <https://doi.org/10.2118/89359-MS>
- Zendehboudi, S., Ahmadi, M. A., Bahadori, A., Shafiei, A., & Babadagli, T. (2013). A developed smart technique to predict minimum miscible pressure-eor implications. *Canadian Journal of Chemical Engineering*, 91(7), 1325–1337. <https://doi.org/10.1002/cjce.21802>
- Zhang, P. Y., Huang, S., & Sayegh, S. (2004). *SPE 89477 Effect of CO₂ Impurities on Gas-Injection EOR Processes*.