

## ANALISIS PENGARUH INJEKSI CO<sub>2</sub> TERHADAP RECOVERY FACTOR MENGGUNAKAN SIMULASI CMG DI LAPANGAN X

Vera Fernanda<sup>1\*</sup>, Mulia Ginting<sup>1</sup>, dan Prayang Sunny<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Perminyakan, Universitas Trisakti

\*email: fernandavera04@yahoo.co.id

### ABSTRAK

Lapangan X merupakan lapangan yang terletak di Sumatera Selatan, dimana terdapat beberapa lapangan gas dengan potensi gas CO<sub>2</sub> yang cukup besar. Pada lapangan ini, belum pernah dilakukan penelitian mengenai injeksi CO<sub>2</sub> di laboratorium maupun simulasi. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh injeksi CO<sub>2</sub> terhadap nilai *recovery factor* dengan simulasi satu dimensi menggunakan perangkat lunak CMG. Untuk dapat membuat model simulasi yang akurat, perlu dilakukan validasi dengan membandingkan hasil yang diperoleh terhadap uji injeksi CO<sub>2</sub> dari eksperimen di laboratorium. Data eksperimen di laboratorium yang digunakan pada penelitian ini bersumber dari literatur Vulin. Hasil *recovery factor* yang diperoleh untuk lapangan X ialah sebesar 98.80%. Dalam penelitian ini, laju injeksi CO<sub>2</sub> tidak terlalu berpengaruh terhadap perubahan *recovery factor*, melainkan perbedaan tekanan injeksi CO<sub>2</sub> dimana semakin tinggi tekanan injeksi CO<sub>2</sub> pada keadaan *immiscible*, maka akan semakin tinggi pula *recovery factor* yang diperoleh. Selain itu, perbedaan komposisi minyak juga berpengaruh terhadap besarnya perolehan MMP, dimana semakin tinggi komponen menengah dari suatu fluida reservoir maka akan semakin rendah MMP CO<sub>2</sub>. Lapangan X memiliki fraksi komponen menengah yang cukup tinggi, oleh karena itu harga MMP yang diperoleh lebih rendah dibandingkan dengan MMP CO<sub>2</sub> dari sampel literatur Vulin. MMP CO<sub>2</sub> yang diperoleh pada sampel lapangan X yaitu 2610.68 psia.

**Kata kunci:** *Enhanced Oil Recovery*, Injeksi CO<sub>2</sub>, Tekanan Tercampur Minimum, *Recovery Factor*, Laju Alir Injeksi CO<sub>2</sub>

### ABSTRACT

*X-Field is located in South Sumatra, where there are several gas fields with considerable CO<sub>2</sub> gas potential. In this field, no research has been conducted on CO<sub>2</sub> injection neither in the laboratory nor simulation. Therefore, the purpose of this study is to analyze the effect of CO<sub>2</sub> injection on the value of recovery factor with one-dimensional simulation using CMG. To be able to make an accurate simulation model, it is necessary to do validation by comparing the results obtained with the CO<sub>2</sub> injection test from experiments in the laboratory. Laboratory experimental data used in this study is from Vulin's literature. The result of recovery factor for X-field is 98.80%. From the results of this study, it is known that the injection rate of CO<sub>2</sub> has no effect on changes in recovery factor. However, the difference of CO<sub>2</sub> injection pressure in these two samples influences the change in recovery factor. The higher injection pressure of CO<sub>2</sub> in an immiscible condition is, the higher the value of the recovery factor is achieved. In addition, the difference in oil composition in these two samples affects the value of MMP, where the higher the intermediate component of a reservoir fluid is, the lower the MMP will be. X-field has a high intermediate component fraction, therefore the value of MMP obtained is lower than the MMP from Vulin's literature. The value of MMP in X-field is 2610.68 psia.*

**Kata kunci:** *Enhanced Oil Recovery*, CO<sub>2</sub> Injection, Minimum Miscibility Pressure, *Recovery Factor*, CO<sub>2</sub> Injection Rate

### CATATAN KAKI :

\*fernandavera04@yahoo.co.id

## PENDAHULUAN

Gas CO<sub>2</sub> merupakan salah satu komponen yang sangat berlimpah di bumi ini dan di Indonesia sendiri, tepatnya di cekungan Sumatera Selatan terdapat beberapa lapangan gas dengan potensi gas CO<sub>2</sub> yang cukup besar. Karenanya, dikembangkanlah ide untuk meningkatkan *recovery factor* di sumur minyak dengan menginjeksikan CO<sub>2</sub> ke dalam reservoir. Dalam melakukan penginjeksian CO<sub>2</sub>, ada beberapa hal yang harus dipertimbangkan, salah satunya yaitu dengan menentukan nilai *Minimum Miscibility Pressure* (MMP). MMP merupakan tekanan minimum dimana CO<sub>2</sub> akan bercampur dengan fluida reservoir sehingga membentuk suatu fluida dengan komposisi baru yang memiliki viskositas yang lebih rendah dan efisiensi pendesakan yang lebih tinggi.

Pada lapangan X ini, belum pernah dilakukan penelitian mengenai injeksi CO<sub>2</sub> di laboratorium maupun simulasi. Oleh karena itu, dalam studi ini dilakukan analisis mengenai pengaruh nilai *recovery factor* terhadap injeksi CO<sub>2</sub> dengan simulasi menggunakan perangkat lunak *Computer Modelling Group* (CMG). Untuk melakukan injeksi CO<sub>2</sub> dengan menggunakan simulasi CMG ini, dilakukan validasi antara simulasi CMG dengan data eksperimen *slim-tube* di laboratorium yang ada di literatur Vulin (2018), sehingga nantinya akan dapat simulasi *base case model* yang dapat digunakan untuk simulasi sampel lapangan X. Simulasi *base case model* ini selanjutnya diuji pada tiga sampel dari literatur lainnya seperti Rathmell, Frimodig, dan Cardenas untuk mengetahui keakuratan dari model simulasi CMG yang digunakan.

Tujuan utama dari penelitian ini yaitu untuk dapat mengetahui pengaruh injeksi CO<sub>2</sub> seperti tekanan injeksi CO<sub>2</sub> dan laju alir injeksi CO<sub>2</sub> terhadap *recovery factor* apabila dilakukan penginjeksian gas CO<sub>2</sub> dengan simulasi satu dimensi menggunakan perangkat lunak CMG. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk menentukan nilai MMP CO<sub>2</sub> pada lapangan X.

## PERMASALAHAN

Adapun rumusan masalah yang dibuat dalam penelitian ini antara lain pengaruh injeksi CO<sub>2</sub> terhadap *recovery factor*, seberapa jauh pengaruh tekanan injeksi

CO<sub>2</sub> terhadap *recovery factor*, dan nilai MMP yang diperoleh untuk injeksi CO<sub>2</sub> dengan menggunakan sampel fluida lapangan X.

## METODOLOGI

Rangkaian tahapan dalam analisis pengaruh injeksi CO<sub>2</sub> terhadap *recovery factor* ini meliputi persiapan data, analisis persamaan keadaan (EOS) menggunakan perangkat lunak WINPROP, simulasi satu dimensi dengan menggunakan perangkat lunak CMG, plot RF vs tekanan untuk mendapatkan nilai MMP, serta dilakukan validasi dengan data eksperimen *slim-tube* di laboratorium dari literatur Vulin.

Adapun langkah kerja dari analisis persamaan keadaan (EOS) menggunakan perangkat lunak WINPROP dengan menginput data-data sebagai berikut:

1. *Equation of State* (EOS). Pada data file EOS dilakukan input *comment* dan *title* reservoir mana yang akan diteliti, kemudian pilih data *equation of state*, *units*, dan *feed* yang dibutuhkan untuk persamaan keadaan. Dalam analisa yang dilakukan ini, EOS yang digunakan ialah Soave-Redlich-Kwong (SRK).
2. *Component Selection/Properties*. Pada *component selection* dilakukan proses input data komponen fluida reservoir yang akan diteliti, diantaranya yaitu data *molecular weight*, *specific gravity*, *critical temperature*, *critical pressure*, dan lain-lain. Pada *interaction coefficient*, parameter yang diubah ialah *Binary Interaction Parameters* (BIP). BI yang digunakan pada *base case model* dalam perangkat lunak WINPROP ini yaitu 0.15.
3. *Composition*. Pada bagian ini, data yang dimasukkan ialah data persen mol dari fluida reservoir pada kolom *primary* dan persen fluida injeksi pada kolom *secondary*.
4. *Saturation Pressure*. Dalam saturation pressure ini, data yang harus dimasukkan ialah data temperatur (dalam satuan derajat Fahrenheit) dan perkiraan tekanan saturasi (dalam satuan psia).
5. *Two-phase Envelope*. Pada tahapan ini data yang dimasukkan yaitu nilai *minimum pressure*, *maximum pressure*, *minimum temperature*, dan *maximum temperature* untuk X-Y phase envelope.

6. *Two-phase Flash*. Pada tahapan ini, data yang di input ialah data tekanan dan temperatur, serta *step* dan jumlah *step* dari kedua parameter tersebut
7. *Asphaltene/Wax Modelling*. Data-data yang dimasukkan pada tahapan ini sama dengan kedua tahapan sebelumnya.
8. *Multiple Contacts*. Dalam *multiple contacts*, data-data yang perlu dimasukkan ialah data temperatur, tekanan, *pressure step*, *maximum number of pressure steps*, serta metode perhitungan MMP yang digunakan. Kemudian pada *compositions*, input persen fluida injeksi yang digunakan pada kolom *primary gas*.
9. *CMG GEM EOS Model*. Pada tahapan terakhir dari perangkat lunak WINPROP ini, data yang perlu di input hanya data temperatur. Selanjutnya WINPROP akan menghasilkan keluaran dalam format *.gem* yang dapat digunakan sebagai input model EOS pada simulator GEM dari CMG.

Tahapan yang dilakukan selanjutnya yaitu simulasi satu dimensi dengan menggunakan perangkat lunak CMG. Adapun langkah kerja dalam pembuatannya antara lain:

1. *Input / Output Control*. Tahap ini terdapat *input title* dari pekerjaan yang kita lakukan. Kemudian, untuk menentukan satuan yang dipakai dalam simulasi dan juga dapat mengatur *output* yang diinginkan.
2. *Reservoir Description*. Tahapan ini merupakan tahapan pembuatan model reservoir seperti jumlah grid yang dipakai (*grid top dan grid thickness*), sifat fisik reservoir seperti porositas dan permeabilitas, tekanan injeksi, saturasi air, komposisi dari fluida reservoir yang digunakan, dan lainnya. Dalam penelitian ini, cell dari *grid block* yang digunakan ialah 500x1x1.
3. *Component Properties*. Tahapan ini untuk memasukkan model persamaan keadaan (EOS) yang diperoleh dari hasil running pada WINPROP.
4. *Rock Fluid Data*. Langkah selanjutnya setelah memasukkan data fluida reservoir ialah memasukkan data permeabilitas relatif.
5. *Initial Conditions*. Tahap ini mendefinisikan keadaan mula-mula

reservoir seperti Water Oil Contact, Gas Oil Contact, dan lain-lain.

6. *Numerical Method Control*. Pada tahapan ini digunakan untuk mengatur batasan metode numerik yang digunakan dalam simulasi
7. *Well and Recurrent Data*. Tahapan terakhir yaitu memasukkan data-data sumur antara lain jenis sumur, komposisi fluida yang diinjeksikan, fraksi mol fluida injeksi, tanggal produksi, limitasi produksi, perforasi sumur, laju alir injeksi, tekanan injeksi dan parameter-parameter lainnya.

Tabel di bawah ini merupakan *slim-tube properties* yang digunakan untuk simulasi *base case model*.

**Tabel 1.** *Slim-tube properties* untuk *base case model* pada simulator CMG

Parameter	Keterangan
Number of Cells	500
CO <sub>2</sub> Injection Rate	3 cc/h sampai dengan 1.2 PV
Porosity (%)	44.2
Permeability (mD)	5056

## HASIL DAN ANALISIS

Dalam penelitian ini digunakan dua sampel fluida, sampel A dari data literatur Vulin (2018) sedangkan sampel B dari data lapangan, di mana komposisinya disajikan pada tabel berikut.

**Tabel 2.** Komposisi sampel fluida

Sampel A		Sampel B	
Komponen	% mol	Komponen	% mol
N <sub>2</sub>	0.094	N <sub>2</sub>	0.216
CO <sub>2</sub>	0.462	CO <sub>2</sub>	5.203
C <sub>1</sub>	33.246	C <sub>1</sub>	15.11
C <sub>2</sub>	3.921	C <sub>2</sub>	2.16
C <sub>3</sub>	3.11	C <sub>3</sub>	10.2
C <sub>4</sub>	2.833	i-C <sub>4</sub>	3.751
C <sub>5</sub>	2.808	n-C <sub>4</sub>	5.061
C <sub>6</sub>	2.783	i-C <sub>5</sub>	3.921
C <sub>7</sub> -C <sub>13</sub>	7.242	n-C <sub>5</sub>	3.133
C <sub>14</sub> -C <sub>19</sub>	13.601	C <sub>6</sub>	7.254
C <sub>20</sub> -C <sub>25</sub>	14.29	C <sub>7+</sub>	43.992
C <sub>25</sub> -C <sub>32</sub>	10.414		
C <sub>33</sub> -C <sub>46</sub>	5.195		
Total	100	Total	100

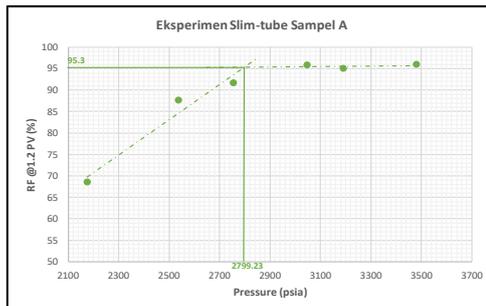
Uji injeksi CO<sub>2</sub> dengan menggunakan data dari literature Vulin ini dilakukan sebagai acuan untuk membuat simulasi *base case model* agar didapati model simulasi satu dimensi menggunakan perangkat lunak CMG yang akurat, sehingga nantinya dapat digunakan untuk simulasi sampel lapangan X.

Pada *eksperimen slim-tube* di laboratorium dalam literatur Vulin (dinyatakan sebagai sampel A), tekanan injeksi CO<sub>2</sub> yang digunakan yaitu 2176; 2538; 2756; 3046; 3191 dan 3481 psia, sedangkan laju alir injeksi gas CO<sub>2</sub> yang pertama ialah sebesar 3 cc/h sampai volume gas yang diinjeksikan mencapai 0.7 PV, kemudian dilanjutkan dengan menambahkan laju alir injeksi gas CO<sub>2</sub> sebesar 6 cc/h sampai total volume gas yang diinjeksi mencapai 1.2 PV.

**Tabel 3.** Data eksperimen *slim-tube* sampel A

Pressure (psia)	Recovery Factor @1.2 PV (%)
2176	68.54
2538	87.68
2756	91.60
3046	95.81
3191	95.06
3481	95.89

Besarnya RF dan MMP dari eksperimen *slim-tube* pada literatur Vulin dapat dilihat pada Gambar 1 berikut.



**Gambar 1.** Grafik eksperimen *slim-tube*

Nilai MMP dari eksperimen *slim-tube* sampel A yaitu sebesar 2799.23 psia dengan RF yaitu 95.3%.

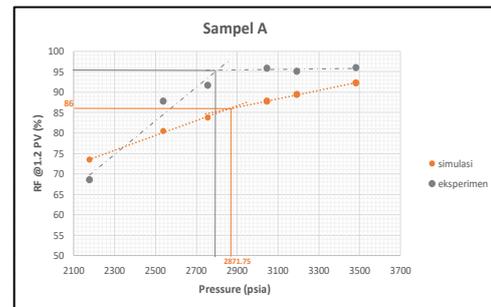
Dalam pembuatan simulasi *base case model*, komponen fluida, tekanan injeksi CO<sub>2</sub> dan laju injeksi yang digunakan sama seperti eksperimen *slim-tube*. Dari hasil simulasi CMG pada berbagai tekanan dengan BIP 0.15,

dapat ditentukan besarnya RF pada injeksi CO<sub>2</sub> 1.2 PV seperti pada tabel 4.

**Tabel 4.** Hasil simulasi CMG sampel A dengan BIP 0.15

Pressure (psia)	Recovery Factor @1.2 PV (%)
2176	73.36
2538	80.47
2756	83.78
3046	87.76
3191	89.38
3481	92.22

Grafik perbandingan eksperimen *slim-tube* dengan simulasi dari sampel A dengan BIP 0.13 dapat dilihat pada gambar berikut.



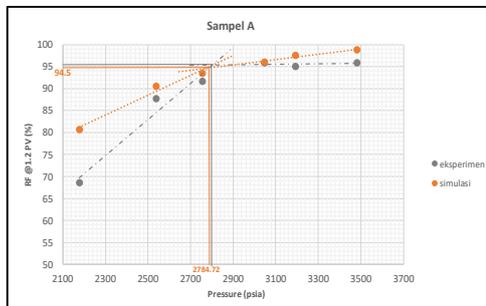
**Gambar 2.** Perbandingan eksperimen *slim-tube* dengan simulasi CMG

Berdasarkan Gambar 2, nilai MMP yang diperoleh yaitu sebesar 2871.75 psia, sedangkan RF yang didapat ialah 86%. Hasil eksperimen *slim-tube* dengan simulasi *base case model* masih berbeda, oleh karena itu perlu dilakukan penyesuaian untuk meningkatkan hasil RF dan MMP agar mendekati hasil eksperimen *slim-tube* di laboratorium. Parameter yang diubah untuk penyesuaian ini ialah BIP pada persamaan keadaan (EOS). BIP ini merupakan parameter yang digunakan untuk mengatur kesetimbangan fasa. Harga BIP yang diuji antara lain yaitu 0.11; 0.12; 0.13; 0.14 dan 0.15. Dari kelima harga BIP tersebut, MMP dan RF yang paling mendekati hasil eksperimen *slim-tube* ialah BIP 0.13. Tabel 5 merupakan tabel besarnya RF pada injeksi CO<sub>2</sub> 1.2 PV dengan BIP 0.13.

**Tabel 5.** Hasil simulasi CMG sampel A dengan BIP 0.13

Pressure (psia)	Recovery Factor @ 1.2 PV (%)
2176	80.72
2538	90.55
2756	93.44
3046	96.01
3191	97.54
3481	98.80

Grafik simulasi CMG untuk sampel A dengan BIP 0.13 dapat dilihat pada Gambar 3.



**Gambar 3.** Perbandingan eksperimen *slim-tube* dengan simulasi CMG dengan BIP 0.13

Pada Gambar 3, hasil MMP yang diperoleh ialah atau 2784.72 psia dan RF dikisaran 94.5%, dimana MMP yang didapat berbeda 15 psia dibandingkan dengan MMP eksperimen *slim-tube* di laboratorium dan perbedaan RF yang didapat kurang dari 1%.

Dengan menggunakan nilai BIP 0.13 ini, selanjutnya dilakukan uji injeksi CO<sub>2</sub> untuk beberapa sampel yang berbeda dari beberapa literatur menggunakan model simulasi CMG yang telah diuji. Sampel yang digunakan untuk pengujian ini ialah sampel dari literatur milik Rathmell (1971), Frimodig (1983), dan Cardenas (1984).

**Tabel 6.** Perbandingan MMP dari literatur dengan MMP simulasi CMG

	Rathmell <i>et al.</i>	Frimodig <i>et al.</i>	Cardenas <i>et al.</i>
MMP <i>slim-tube</i> dari literatur (psia)	2014.7	3970.0	3500.0
MMP simulasi (psia)	2001.5	3923.3	3422.9
% error	0.66%	1.18%	2.20%

Berdasarkan Tabel 6, dapat dilihat perbandingan nilai MMP dari literatur dengan MMP simulasi CMG dari ketiga sampel literatur. Perbedaan hasil MMP pada literatur Rathmell dengan simulasi CMG ialah sebesar 13.2 psia dengan persen kesalahan 0.66%. Pada literatur Frimodig, perbedaan hasil MMP di literatur dengan simulasi CMG yaitu 46.7 psia dengan persen kesalahan sebesar 1.18%, sedangkan pada literatur Cardenas perbandingannya yaitu 77.1 psia dengan persen kesalahan 2.20%.

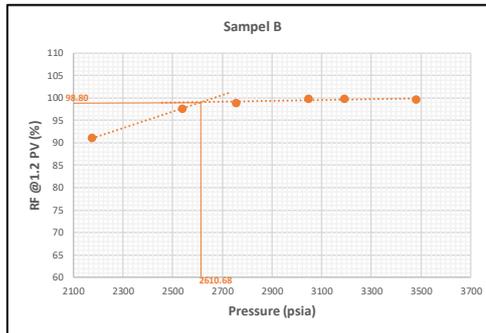
Dari ketiga pengujian model simulasi dengan menggunakan data sampel literatur ini, perolehan MMP dengan simulasi CMG mendekati nilai dari MMP dari literatur, sehingga dapat disimpulkan bahwa model simulasi CMG cukup akurat dan dapat digunakan untuk uji simulasi injeksi CO<sub>2</sub> pada lapangan X.

Selanjutnya, simulasi CMG untuk sample B yang merupakan sampel data dari lapangan X, dilakukan dengan mengubah komponen pada WINPROP tanpa merubah *slim-tube properties* pada perangkat lunak CMG. BIP yang digunakan pada simulasi ini ialah 0.13, dengan laju alir injeksi yang digunakan yaitu 3 cc/h yang diinjeksikan sampai dengan 1.2 PV. Hasil simulasi CMG untuk sampel B pada berbagai tekanan dengan laju alir 3 cc/h dan BIP 0.13 dapat dilihat pada Tabel 7 di bawah.

**Tabel 7.** Hasil simulasi sampel B dengan BIP 0.13

Pressure (psia)	Recovery Factor @ 1.2 PV (%)
2176	91.09
2538	97.63
2756	98.94
3046	99.85
3191	99.89
3481	99.66

Dari tabel diatas, selanjutnya dapat ditentukan nilai MMP yang diperoleh dengan plot grafik pada Gambar 4 berikut.



**Gambar 4.** Grafik hasil simulasi CMG dari sampel B

Gambar 4 di atas merupakan plot RF vs tekanan dari hasil simulasi CMG untuk sampel B, dimana MMP yang diperoleh yaitu pada tekanan 2610.68 psia dan RF yang didapat yaitu 98.80%. Nilai MMP yang diperoleh untuk sampel B jauh lebih kecil dibandingkan pada sampel A. Pada literatur Glaso (1985) dijelaskan bahwa komponen menengah (C<sub>2</sub>-C<sub>6</sub>) mempengaruhi MMP, dimana MMP yang diperoleh akan tinggi apabila persen mol dari komponen menengahnya rendah. Pada penelitian ini, komponen menengah (C<sub>2</sub>-C<sub>6</sub>) dalam sampel B lebih besar dibandingkan pada sampel A, oleh karenanya nilai perolehan MMP yang didapat untuk sampel B lebih rendah dibandingkan dengan sampel A.

Selanjutnya, hasil perolehan MMP dan RF yang didapat dari simulasi CMG untuk sampel B dibandingkan dengan hasil perhitungan MMP menggunakan korelasi. Korelasi yang digunakan untuk perbandingan ini ialah korelasi Yellig dan Metcalfe (1980) serta korelasi Yuan et al. (2004). Perbandingan antara MMP simulasi dan korelasi pada sampel B dapat dilihat pada tabel 8 berikut.

**Tabel 8.** Perbandingan antara MMP simulasi dengan MMP korelasi sampel B

Metode	MMP (psia)
Yellig dan Metcalfe	2752.82
Yuan et al.	2715.89
Simulasi	2610.68

Dari tabel diatas, dapat dilihat bahwa perbandingan MMP simulasi dengan korelasi tidak jauh berbeda. Perbedaan atau persen kesalahan antara korelasi Yellig dan

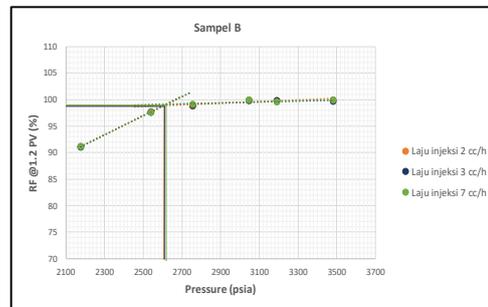
Metcalfe dengan simulasi sekitar 5.16%, sedangkan untuk korelasi Yuan yaitu 3.87%.

Untuk mengetahui pengaruh dari laju alir terhadap nilai *recovery factor* dan MMP pada lapangan X, dilakukan uji simulasi dengan menggunakan laju alir injeksi CO<sub>2</sub> yang berbeda yaitu 2 cc/h, 3 cc/h dan 7 cc/h yang diinjeksikan sampai dengan 1.2 PV. Besarnya RF pada injeksi CO<sub>2</sub> 1.2 PV yang diperoleh pada masing-masing sampel dengan tekanan dan laju alir injeksi CO<sub>2</sub> yang berbeda, dapat dilihat pada tabel berikut.

**Tabel 9.** Hasil simulasi CMG sampel B dengan laju alir injeksi CO<sub>2</sub> berbeda

Pressure (psia)	Recovery Factor @1.2 PV (%)					
	Sampel A			Sampel B		
	2 cc/h	3 cc/h	7 cc/h	2 cc/h	3 cc/h	7 cc/h
2176	81.0489	80.7205	80.8758	91.1487	91.0902	91.2253
2538	90.3940	90.5546	90.5546	97.7611	97.6272	97.6396
2756	93.2907	93.4429	93.1842	98.7933	98.9374	99.1371
3046	96.1976	96.0142	95.9337	99.9965	99.8484	99.9941
3191	97.3421	97.5441	97.4234	99.8855	99.8860	99.6320
3481	98.6782	98.8035	99.2174	99.9986	99.6627	99.9928
MMP (psia)	2799.23	2784.72	2770.22	2610.68	2610.68	2617.93

Grafik plot RF vs tekanan untuk sampel B dengan laju alir injeksi CO<sub>2</sub> yang berbeda dapat dilihat pada Gambar 5 di bawah ini.



**Gambar 5.** Grafik hasil simulasi CMG sampel B dengan laju alir injeksi berbeda

Gambar 5 merupakan grafik perolehan nilai MMP dan RF untuk sampel B yang merupakan data sampel dari lapangan X. Dari hasil uji simulasi yang dilakukan, untuk laju alir injeksi 2 cc/h, MMP yang diperoleh yaitu sebesar 2610.68 psia dengan RF yaitu sebesar 98.85%. MMP yang diperoleh untuk laju injeksi 3 cc/h sama seperti laju injeksi 2 cc/h yaitu 2610.68 psia, sementara nilai perolehan RF sebesar 98.80%. Lalu, pada laju alir injeksi 7 cc/h didapati besaran MMP yaitu

2617.93 psia, sedangkan RF yang didapati dikisaran 98.92%.

#### KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil penelitian mengenai analisis pengaruh injeksi CO<sub>2</sub> terhadap *recovery factor* menggunakan simulasi CMG dapat ditarik beberapa kesimpulan, yaitu laju alir injeksi CO<sub>2</sub> yang diuji pada penelitian ini tidak terlalu berpengaruh terhadap perubahan *recovery factor* dan MMP. Dalam pengaplikasiannya di reservoir, laju alir injeksi yang rendah seharusnya memiliki perolehan *recovery factor* yang tinggi. Oleh karena model simulasi CMG pada penelitian ini merupakan model satu dimensi dari peralatan *slim-tube* yang berbentuk tabung yang panjang dengan diameter yang kecil, maka efisiensi penyapuan yang terjadi lebih maksimum sehingga *recovery factor* yang diperoleh pada laju injeksi yang berbeda akan cenderung sama.

Selain itu, peningkatan tekanan injeksi CO<sub>2</sub> berpengaruh terhadap perubahan *recovery factor*. Pada keadaan *immiscible*, *recovery factor* meningkat secara linier, di mana semakin tinggi tekanan injeksi CO<sub>2</sub> maka akan semakin tinggi pula *recovery factor* yang diperoleh. Namun, setelah mencapai keadaan *miscible*, *recovery factor* cenderung tetap atau hanya sedikit perubahan yang terlihat terhadap kenaikan tekanan injeksi CO<sub>2</sub>. Untuk sampel lapangan X, *recovery factor* yang diperoleh ialah 98.80%.

Perbedaan komposisi minyak juga berpengaruh terhadap besarnya nilai MMP yang diperoleh. MMP yang diperoleh akan tinggi apabila persen mol dari komponen menengahnya rendah. Komponen menengah dalam sampel B (sampel lapangan) yaitu 35.48%, lebih tinggi dari sampel A (sampel literatur Vulin) yaitu sebesar 15.46%. Oleh karena itu, MMP pada sampel B lebih rendah daripada sampel A.

Untuk penelitian selanjutnya, dapat dilakukan uji injeksi CO<sub>2</sub> dengan eksperimen di laboratorium pada sampel lapangan X untuk membuktikan MMP dan *recovery factor* yang diperoleh dari simulasi sama dengan eksperimen di laboratorium.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Cooper Energy Sukananti Ltd yang telah menyediakan data-data yang diperlukan dalam penelitian ini.

Terima kasih pula kepada bapak Ir. Mulia Ginting, MT., selaku pembimbing utama yang telah membimbing saya dan banyak membantu saya dalam menyelesaikan makalah ini, serta kepada kak Prayang Sunny, ST, MT, selaku pembimbing kedua yang juga telah memberikan bimbingan, motivasi serta saran yang mendukung selama proses pengerjaan makalah ini.

#### REFERINSI / DAFTAR PUSTAKA

- Cardenas, R.L., Alston, R.B., Nute, A.J, dan Kokolis, G.P., "Laboratory Design of a Gravity-Stable Miscible CO<sub>2</sub> Process", Journal of Petroleum Technology, 111-118, 1984.
- Frimodig, J.P., Reese, N.A., dan William, C.A., "Carbon Dioxide Flooding Evaluation of High-Pour-Point, Paraffinic Red Wash Reservoir Oil", SPEJ, 587-94, 1983.
- Glaso, O., "Generalized Minimum Miscibility Pressure Correlation", SPEJ 25, 6, 927-934, 1985.
- Holm, W. L., "Evolution of The Carbon Dioxide Flooding Processes", Journal of Petroleum Technology 39.11, 1-337, 1987.
- Rathmell, J.J., Stalkup, F.I., dan Hassinger, R.C., "A Laboratory Investigation of Miscible Displacement by Carbon Dioxide", SPE 3483 presented at the SPE 1971 Annual Fall Meeting, New Orleans, 1971.
- Vulin, D., Gacina, M., dan Bilicic, V., "Slimtube Simulation Model for Carbon Dioxide Enhanced Oil Recovery", The Mining Geology Petroleum Engineering Buletin 553.9, 37-49, 2018.
- Yellig, W. F. dan Metcalfe R. S., "Determination and Prediction of CO<sub>2</sub> Minimum Miscibility Pressures", Journal of Petroleum Technology, 160-168, 1980.
- Yuan, H., Johns, R.T., Egwenu, A.M., Dindoruk, B., "Improved MMP Correlations for CO<sub>2</sub> Floods Using Analytical Gas Flooding Theory", SPE Reservoir Evaluation and Engineering, 418-425, 2005.