

## **PREDIKSI KINERJA INJEKSI AIR PADA RESERVOIR KARBONAT MENGUNAKAN METODE HALL PLOT DAN METODE VOIDAGE REPLACEMENT RATIO (VRR)**

**Rice Merina**

Program Studi Magister Teknik Perminyakan, Universitas Trisakti

*Corresponding Author:* [ricemerina28@gmail.com](mailto:ricemerina28@gmail.com)

### **ABSTRAK**

Penurunan tekanan reservoir terjadi pada saat produksi minyak atau gas dilakukan terus menerus. Khusus untuk reservoir karbonat, biasanya bercirikan dengan pada saat awal produksi, laju alir produksi minyak tinggi. Hal ini karena laju alir minyak berasal dari fluida yang mengalir dari bagian *fracture*, dan kemudian akan turun drastis selanjutnya laju alir produksi minyak rendah tetapi landai karena fluida berasal dari bagian matriks. Untuk tetap menjaga tekanan reservoir tetap landai maka perlu dilakukan pemeliharaan tekanan reservoir. Penurunan tekanan reservoir pada saat tahapan ini dapat kita jaga dengan salah satu cara yaitu dengan melakukan injeksi air. Injeksi air yang dilakukan dapat dimonitor dan dievaluasi dengan melakukan perhitungan metode *hall plot* dan metode *voidage replacement ratio (VRR)*. Analisis *hall plot* dan *VRR* ini bertujuan agar dapat melihat efektifitas dari injeksi air yang telah dilakukan. Metode *hall plot* dan *VRR* ini dilakukan dengan cara mengelompokkan sumur-sumur injeksi air dan sumur-sumur monitor yang biasanya digunakan adalah sumur-sumur produksi minyak. Performa *VRR* tersebut dapat dilihat berdasarkan pengamatan terhadap data performa produksi, performa injeksi dan performa tekanan reservoir.

**Kata Kunci:** *Reservoir Karbonat, Injeksi Air, Voidage Replacement Ratio.*

### **I. PENDAHULUAN**

Kegiatan produksi minyak bumi yang dilakukan secara terus-menerus mengakibatkan penurunan tekanan reservoir baik secara lambat maupun cepat tergantung dari tenaga pendorong dari reservoir tersebut. Penurunan tekanan reservoir ini berdampak pada faktor perolehan minyak yang tidak maksimal dan masih ada minyak yang belum bisa diambil di dalam reservoir. Oleh karena itu, perlu dilakukan kegiatan untuk mempertahankan tekanan reservoir, salah satunya dengan melakukan kegiatan injeksi air.

Tujuan penelitian ini adalah untuk dapat melihat efektifitas kegiatan injeksi air dengan menggunakan metode *hall plot* dan metode *voidage replacement ratio (VRR)* agar dapat melakukan optimasi selanjutnya.

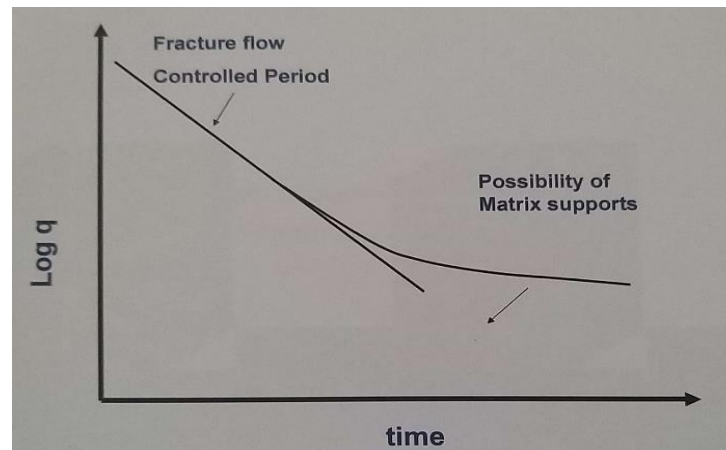
### **II. STUDI PUSTAKA**

#### **Reservoir Karbonat**

Reservoir karbonat dicirikan dari porositas dan permeabilitas yang sangat heterogen. Heterogenitas ini disebabkan oleh lingkungan pengendapan dan proses diagenesis. Sistem pori reservoir karbonat berupa *fracture*, matriks dan rongga-rongga dalam reservoir (Jardine, 1982). Alasan utama mempelajari reservoir dan

akuifer karbonat adalah untuk mengetahui bagaimana cara menemukan, mengekstrak, dan mengelola minyak, gas, air. Reservoir karbonat menampung sekitar setengah dari minyak dan gas dunia (Ahr, 2008).

Ciri performa reservoir karbonat *double porosity*, biasanya pada saat awal produksi, laju alir produksi minyak tinggi dikarenakan laju alir minyak berasal dari fluida yang mengalir dari bagian *fracture*, dan kemudian akan turun drastis selanjutnya laju alir produksi minyak rendah tetapi landai karena fluida berasal dari bagian matriks (Abdassah, 2009) yang ditunjukkan oleh gambar 1. perfoma reservoir karbonat *double porosity* berikut ini:



Gambar 1. Perfoma Reservoir Karbonat *Double Porosity* (Abdassah, 2009)

Permeabilitas relatif terhadap fluida didefinisikan sebagai perbandingan permeabilitas efektif pada saturasi fluida tersebut hingga permeabilitas absolut pada 100% saturasi. Hubungan permeabilitas relatif dan saturasi pada batuan karbonat dengan porositas intergranular karakteristik permeabilitas relatif menyerupai formasi batu pasir. Batuan reservoir karbonat dengan sistem pori yang lebih heterogen (misalnya, dolomit dengan porositas antar kristal) biasanya menunjukkan karakteristik aliran yang berbeda dari sampel *core* batu pasir (Honapour, 1992). Pada kurva hubungan permeabilitas relatif saturasi air ( $S_w$ ) dapat dilihat langsung bahwa dikatakan oil wet jika perpotongan kurva permeabilitas relative minyak ( $K_{ro}$ ) dan permeabilitas air ( $K_{rw}$ ) berada pada saturasi air ( $S_w$ ) kurang dari 50%. Sedangkan dikatakan water wet jika perpotongan kurva permeabilitas relative minyak ( $K_{ro}$ ) dan permeabilitas air ( $K_{rw}$ ) berada pada saturasi air ( $S_w$ ) lebih dari 50%.

Berdasarkan waktu dan terjadinya, porositas dibagi menjadi dua kategori yaitu porositas primer dan porositas sekunder dengan penjelasan sebagai berikut (Rukmana, 2012):

1. Porositas primer merupakan porositas yang terbentuk pada waktu yang bersamaan dengan proses pengendapan.
2. Porositas sekunder merupakan porositas terbentuk dalam reservoir setelah terjadinya pengendapan. Jenis utama dari porositas sekunder adalah *fenestral*, *intercrystalline*, *moldic*, *vuggy* dan *fracture*. Hal ini untuk reservoir karbonat karena ada *vuggy* ataupun *fracture* biasanya reservoir karbonat memiliki porositas sekunder.

## Injeksi Air

Injeksi air merupakan salah satu metode pengangkatan minyak bumi dengan melakukan injeksi air ke dalam reservoir dengan tujuan menjaga tekanan reservoir agar tidak terjadi penurunan tekanan yang drastis. Air dipilih sebagai fluida injeksi dikarenakan mudah didapatkan. Air yang diinjeksi dapat menggunakan air yang telah diproduksi yang kemudian diolah sebelum diinjeksikan ataupun air dari sumber lainnya seperti sungai, danau dan air laut.

## Hall Plot

Analisa *hall plot* dikenalkan oleh Hall pada tahun 1963 untuk mengetahui efektifitas injeksi air dan permasalahan yang mungkin terjadi pada sumur injeksi air. Analisa *hall plot* dilakukan dengan membuat garis plot antara kumulatif injeksi air dengan kumulatif tekanan reservoir. Kurva dari *hall plot* merupakan kurva hubungan antara kumulatif injeksi air dan integral selisih tekanan kepala sumur ( $P_{wi}$ ) dengan tekanan reservoir ( $P_r$ ) terhadap waktu yang diplot. Saat kondisi normal, menghasilkan garis lurus yang diawali dengan lengkungan kecil yang menandakan proses *fill-up*. Secara matematis formula *hall plot* adalah sebagai berikut:

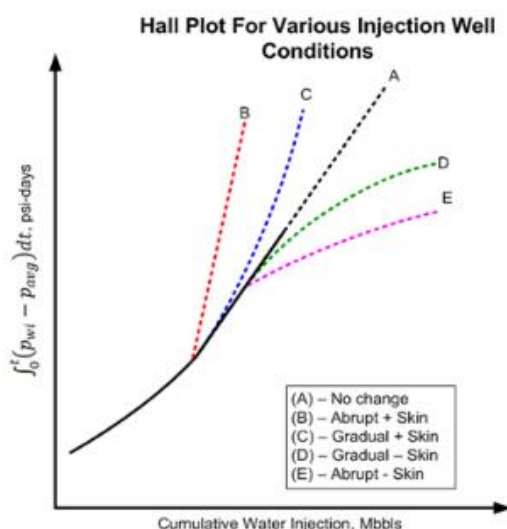
$$\int_0^t (P_{wi} - P_{avg}) dt = \sum \Delta p * \Delta t \dots\dots\dots(1)$$

Dimana:

$\Delta p$  :  $P_{wi} - P_{avg}$

$\Delta t$  : jumlah hari injeksi perbulan

Hasil dari analisa *hall plot* dapat berupa adanya indikasi *positive skin*, *negative skin* ataupun adanya *water channeling* yang ditunjukkan pada gambar 2. tipe hasil analisis *hall plot* berikut ini:



Gambar 2. Tipe Hasil Analisis *Hall Plot*

## Voidage Replacement Ratio

*Voidage replacement ratio (VRR)* adalah perbandingan volume total fluida yang diinjeksikan dengan volume fluida yang diproduksi. *VRR* memberikan indikasi bahwa jumlah fluida yang diinjeksikan ke dalam reservoir relatif terhadap jumlah

fluida yang yang diproduksi. Ketidakseimbangan antara jumlah fluida yang terproduksi dari reservoir dan jumlah yang diinjeksikan dapat menyebabkan gangguan pada sistem alam yang menyebabkan masalah lingkungan. Untuk meminimalkan ketidakseimbangan tekanan ini perlu dipastikan bahwa *VRR* tetap mendekati angka satu selama masa produksi (Awotunde, 2012; Kim, 2015; Rosario, 2017).

*Voidage replacement ratio (VRR)* merupakan kunci dalam proses penggantian fluida di dalam reservoir, tidak hanya untuk menjaga tekanan reservoir tetapi juga untuk memitigasi terjadinya *surface subsidence*. Monitoring penggantian fluida yang diinjeksikan dan fluida yang terproduksi merupakan tantangan dalam pengelolaan reservoir yang berguna dan realistis untuk pengoptimalan produksi (Termizel, 2016). Secara matematis formula *voidage replacement ratio* adalah sebagai berikut:

$$VRR = \frac{\text{Injected Volume}}{\text{Produced Volume}}$$

$$= \frac{B_{winj} W_{inj} + B_{ginj} G_{inj}}{B_o N_p + B_w W_p + B_g (R_p - R_s) N_p} \dots\dots\dots(2)$$

Dimana:

- VRR* : Voidage Replacement Ratio
- B<sub>winj</sub>* : Faktor Volume Formasi Air Injeksi, bbl/stb
- W<sub>winj</sub>* : Volume Air Injeksi, stb
- B<sub>ginj</sub>* : Faktor Volume Formasi Gas Injeksi, cuft/scf
- G<sub>inj</sub>* : Volume Gas Injeksi, scf
- R<sub>s</sub>* : Solution Gas-Oil Ratio, scf/stb
- R<sub>p</sub>* : Volume Gas-Oil Ratio, scf/stb
- B<sub>o</sub>* : Faktor Volume Formasi Minyak, bbl/stb
- N<sub>p</sub>* : Volume Minyak, stb
- B<sub>w</sub>* : Faktor Volume Formasi Air, bbl/stb
- W<sub>p</sub>* : Volume Minyak, stb
- B<sub>g</sub>* : Faktor Volume Formasi Gas, cuft/scf

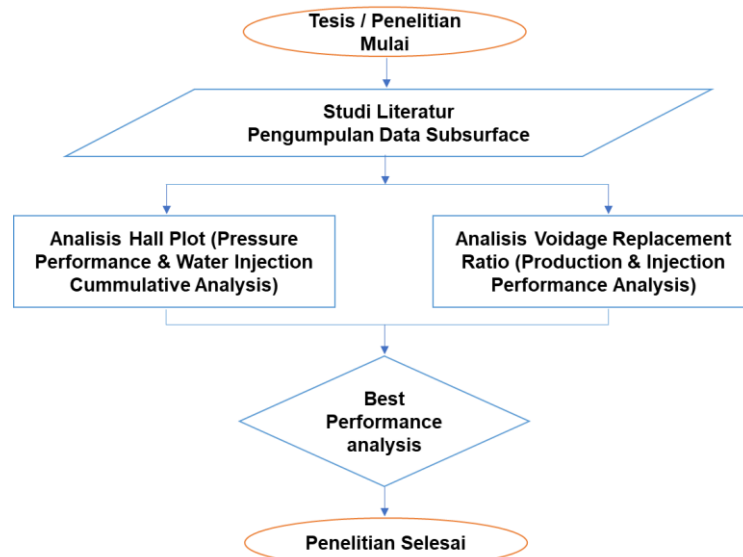
### III. METODOLOGI

Metodologi penelitian ini terdiri dari:

1. Penelusuran pustaka dari *paper*, jurnal, makalah, buku dan lainnya sebagai referensi.
2. Mengumpulkan dan menyipkan data subsurface yang terdiri dari data analisis batuan (*core*), data analisis fluida (*PVT*), data *well hystorical*, data *well surveillance*, data performa laju alir produksi minyak, data performa injeksi air, dan lainnya.
3. Mengelompokkan, menyortir dan memilih data yang terkait dengan topik penelitian.
4. Melakukan analisis tekanan reservoir berdasarkan data *well surveillance* yang tersedia.
5. Membuat kurva hubungan antara kumulatif injeksi air dengan kumulatif tekanan reservoir dengan metode *hall plot*.

6. Melakukan perbandingan analisa performa fluida yang diinjeksikan kedalam reservoir dengan fluida yang terproduksi dengan metode *voidage replacement ratio*.

Diagram alir metodologi ditunjukkan pada gambar 3 dibawah ini.



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

#### IV. PEMBAHASAN

1. Analisis injeksi air terhadap performa sumur produksi minyak.  
Injeksi air dilakukan untuk menjaga tekanan reservoir. Dengan melakukan injeksi air maka dapat menghasilkan peningkatan faktor perolehan produksi minyak dibandingkan reservoir tersebut tidak dilakukan injeksi air.
2. Analisis *hall plot*  
Analisis *hall plot* dimulai dengan membuat kurva hubungan antara kumulatif injeksi air dengan kumulatif tekanan reservoir, kemudian menganalisa perubahan *slope* pada garis plot antara kumulatif injeksi dan kumulatif tekanan yang menunjukkan adanya indikasi *positive skin*, *negative skin* ataupun adanya *water channeling*.
3. Analisis *voidage replacement ratio* (VRR)  
Metode VRR dilakukan dengan cara melakukan pengamatan terhadap data performa produksi, performa injeksi dan performa tekanan reservoir. Nilai VRR didapat dengan menggunakan formula VRR. Nilai VRR dijaga agar tetap mendekati angka satu selama masa produksi.

#### V. KESIMPULAN

Kesimpulan penelitian ini yaitu:

1. Injeksi air dilakukan agar dapat menjaga penurunan produksi.
2. Analisis tekanan reservoir menggunakan data *well surveillance* yang tersedia.
3. Analisis *hall plot* mengetahui efektifitas injeksi air dan permasalahan pada sumur injeksi air dengan melihat perubahan *slope*.

4. Metode *voidage replacement ratio* dapat dilakukan untuk melihat perbandingan volume total fluida yang diinjeksikan dengan volume fluida yang diproduksi.
5. Untuk meminimalkan ketidakseimbangan tekanan, nilai *VRR* mendekati angka satu selama masa produksi berlangsung.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Sugiatmo Kasmungin, yang telah membimbing dalam penyelesaian makalah ini.

### DAFTAR PUSTAKA

- Abdassah, 2009, '*Materi Presentasi Pelatihan Characterization and Modelling Naturally Fractured Reservoir*', Indonesia Petroleum Association & Institute Teknologi Bandung.
- Ahr, 2008, '*Geology of Carbonate Reservoirs*', A John Wiley & Sons Inc, United States of America.
- Awotunde, Sibaweih, 2012, '*Consideration of Voidage Replacement Ratio in Well Placement Optimization*', King Fahd University of Petroleum & Minerals, SPE163354.
- Fekete Surveillance Analysis Theory,  
[http://fekete.com/SAN/TheoryAndEquations/HarmonyTheoryEquations/Content/HTML\\_Files/Reference\\_Material/Analysis\\_Method\\_Theory/Surveillance\\_Theory.htm](http://fekete.com/SAN/TheoryAndEquations/HarmonyTheoryEquations/Content/HTML_Files/Reference_Material/Analysis_Method_Theory/Surveillance_Theory.htm)
- Hamdi, 2015, 'Evaluasi Waterflood Zone 560 dan Zona 660 Lapangan "X" Menggunakan OFM pada Tahun 1984-2005', FTKE Universitas Trisakti, Seminar Nasional Cendekiawan.
- Honapour, Chilingarian, Mazzullo, 1992, '*Permeability and Relative Permeability of Carbonate Reservoirs*'.
- Jardine, and Wilshart, 1982, '*Carbonate Reservoir Description*', Esso Resources Canada Limited, SPE 10010.
- Kim, Vittoratos, and Kovscek, 2015, '*An Experimental Investigation of Viscous-Oil Recovery Efficiency as a Function of voidage-Replacement Ratio*', Stanford University, SPE 174032.
- Rosario and Hernandez, 2017, '*Analytical Method for Voidage Replacement Ratio Calculation in Reservoirs With Quasiscritical Fluids*', ROSNEFT, SPE-187331-MS.
- Rukmana, 2012, '*Teknik Reservoir Teori Dan Aplikasi*', Percetakan Pohon Cahaya, Yogyakarta.
- Temizel, 2016, '*Production Optimization Through Voidage Replacement Using Triggers for Production Rate*', Society of Petroleum engineers, SPE-184131-MS.