

## STUDI KASUS DESAIN *MATRIX ACIDIZING* DENGAN MEMPERHATIKAN MEKANISME PEMBENTUKAN *WORMHOLE* PADA *RESERVOIR* KARBONAT

Praditya Nugraha<sup>1)</sup>, Leonardo Davinci Massolo<sup>2)</sup>, Nur Wahyuni<sup>3)</sup>

<sup>1)2)3)</sup>Jurusan Teknik Perminyakan, Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan Universitas Papua  
Jl. Gunung Salju Amban Manokwari  
Email: <sup>1)</sup>prad.nugraha@gmail.com, <sup>2)</sup>leonardodavincimassolo@gmail.com, <sup>3)</sup>nwahyuni026@gmail.com

### *Abstract*

*This paper discusses the comparison of acid calculation required on carbonate matrix acidizing between volumetric method and by considering the wormhole formation mechanism. Normally the standard estimation of the required acid volume in carbonate rocks is based on volumetric method where the acid will be distributed evenly to all direction in the targeted formation. However the real acid mechanism at carbonate rock is affected by the creation of wormhole. This case study compares the amount of acid volume to both scenarios. The result shows more optimistic result for volumetric method compared to the wormhole influences.*

**Keyword:** *Matrix Acidizing, carbonate acidizing, volumetric method, wormhole*

### **Abstrak**

Paper ini membahas perbandingan perhitungan kebutuhan asam pada sebuah operasi acidizing formasi karbonat secara volumetrik dan dengan mempertimbangkan mekanisme pembentukan *wormhole*. Selama ini standar perhitungan kebutuhan volume acid pada batuan karbonat masih berdasarkan metode volumetrik seperti normalnya pada batuan pasir. Dimana pada asumsi metode volumetrik rembesan asam akan merata kesegala arah pada formasi target. Lain halnya pada karbonat, mekanisme rembesan asam terdapat pembentukan *wormhole*. Studi kasus ini membandingkan jumlah volume asam terhadap kedua skenario tersebut. Didapatkan, skenario volumetrik menghasilkan volume asam yang lebih optimis dibandingkan pada pengaruh *wormhole*.

**Kata kunci:** *Matrix acidizing, karbonat acidizing, metode volumetrik, wormhole*

## PENDAHULUAN

Matrix acidizing adalah injeksi larutan asam ke dalam formasi dengan tekanan injeksi di bawah tekanan rekah formasi. Matrix acidizing bertujuan untuk memperbaiki permeabilitas formasi di daerah sekitar sumur. Pada reservoir batupasir (*sandstone*), injeksi asam dilakukan untuk melarutkan mineral-mineral dekat lubang sumur sehingga permeabilitas yang rendah (*skin*) dapat diperbaiki.

Operasi Acidizing pada reservoir karbonat memiliki mekanisme yang berbeda dengan acidizing pada reservoir batupasir. Pada acidizing di reservoir karbonat terjadi reaksi kimia pada matrix batuan yang membuat porositas dan permeabilitas batuan meningkat dengan terbentuknya *wormhole*. *Wormhole* adalah saluran menyerupai rekahan yang konduktif untuk dilalui fluida reservoir sebagai akibat reaksi asam dengan batuan karbonat yang melampaui daerah formasi yang mengalami kerusakan (penurunan permeabilitas).

Desain operasi acidizing pada reservoir karbonat seringkali hanya dengan menghitung kebutuhan volumetrik asam berdasarkan besaran volume reservoir yang akan distimulasi. Walaupun pada operasi tersebut didapati kenaikan produksi akibat perbaikan nilai *skin*, mekanisme pembentukan *wormhole* perlu diperhatikan untuk mendapatkan kebutuhan volume asam optimum dan tekanan injeksi optimum yang dapat meningkatkan efisiensi operasi acidizing di reservoir karbonat.

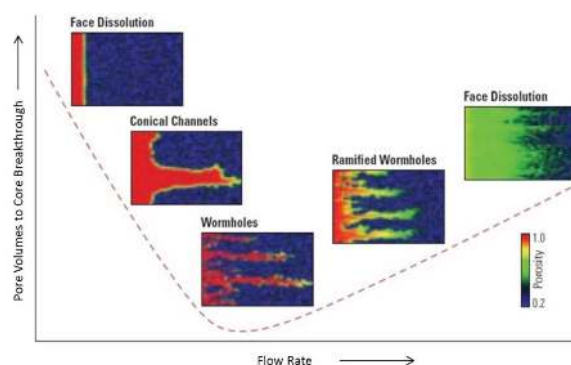
Sebuah studi kasus dengan data lapangan dan data sekunder dari literatur akan diolah untuk melihat perbandingan kebutuhan volume asam secara volumetrik dan dengan metode yang memperhitungkan pembentukan *wormhole*.

## METODE PENULISAN

### Model Pembentukan *Wormhole*

*Wormhole* terbentuk akibat proses pelarutan matrix karbonat yang efisien. Pada laju injeksi optimum, pori-pori yang lebih besar akan meluas lebih cepat dibandingkan pori-pori yang lebih kecil. Pori-pori yang lebih besar mendapat bagian asam lebih banyak pada proses acidizing, sehingga panjang dan volumenya meningkat membentuk *wormhole*. *Wormhole* akan terbentuk ketika reaksi dibatasi oleh perpindahan massa, atau bila laju perpindahan massa dan laju reaksi pada permukaan bernilai sama. Kondisi tersebut disebut juga *mixed kinetics*. Proses pembentukan *wormhole*

dipengaruhi oleh laju injeksi dan sifat fluida dengan mineral yang meliputi kinetika reaksi, laju perpindahan massa, geometri aliran, dan kehilangan cairan (*fluid loss*). Terdapat beberapa jenis struktur pelarutan pada pembentukan *wormhole* yaitu pelarutan merata (*face dissolution*), *wormhole* kerucut (*conical wormhole*), *wormhole* dominan (*dominant wormhole*), *wormhole* bercabang (*ramified wormhole*), dan pelarutan seragam (*uniform dissolution*). Al-Harty dkk, (2009) memperlihatkan bahwa struktur pelarutan dipengaruhi oleh laju injeksi dan pore volume yang ditembus *wormhole*.



Gambar 1. Pola Struktur Pembentukan *Wormhole*

Kondisi *wormhole* yang diinginkan adalah *wormhole* dominan dimana pada kondisi ini laju injeksi optimum memungkinkan asam disalurkan ke ujung rekahan hingga panjang rekahan yang diinginkan.

Akanni dan Nasr-El-Din (2015), telah mengulas berbagai model pembentukan *wormhole* untuk menentukan laju injeksi optimum. Mereka merekomendasikan laju injeksi asam optimum adalah pada kondisi maksimal yang memungkinkan dilakukan di lapangan. Kondisi maksimal yang memungkinkan di lapangan adalah pada tekanan di bawah tekanan rekah formasi. Maksimal laju injeksi pada sumur vertikal (Economides dkk., 1994) :

$$Q_{max} = \frac{kh(p_f - p^-)}{141.2\mu \left[ \left( \ln \frac{0.472r_e}{r_w} \right) + S \right]} \quad (1)$$

Schechter dkk (2000), mengembangkan persamaan untuk menghitung panjang penetrasi *wormhole* dengan memperhatikan pengaruh kehilangan fluida serta asumsi bahwa *wormhole* sebagai fraktal. Untuk aliran radial :

$$r_A^{n_f} - r_w^{n_f} = n_f b \frac{V_A X}{2(1 - \phi)\pi h} N_{Pe}^{-1/3} \quad (2)$$

Di mana  $N_{Pe}$  merupakan Peclet number yang dihitung dari :

$$N_{Pe} = \frac{i}{D_A h} \quad (3)$$

Laju injeksi optimum, volume asam yang dibutuhkan, dan panjang penetrasi akan dibandingkan dengan hasil perhitungan volume asam secara volumetrik zona skin yang dihitung dengan persamaan :

$$V_{acid} = \pi(R_p^2 - R_w^2)\phi h \quad (4)$$

**Studi Kasus**

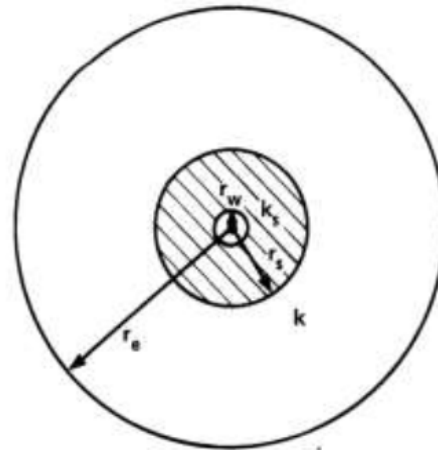
Operasi acidizing akan dilakukan pada sebuah sumur vertikal dangkal dengan reservoir karbonat limestone. Data-data sumur dapat dilihat pada Tabel 1 sedangkan data-data operasi acidizing terdapat pada Tabel 2. Aliran pada sumur ini diasumsikan aliran radial seperti diilustrasikan pada Gambar 2.

Tabel 1. Data Sumur

Data Sumur	Simbol	Nilai
Gradien Rekah	$p_f$	226.4 psi
Tekanan Reservoir	$p_r$	130.7 psi
Permeabilitas	$k$	7 md
Porositas	$\phi$	0.2
Interval perforasi	$h$	12.73 ft
Radius sumur	$r_w$	0.265 ft
Radius pengurasan	$r_e$	250 ft
Radius penetrasi	$r_d$	2.2 ft
Viskositas minyak	$\mu$	3.1 cp

Tabel 2. Data Operasi Acidizing

Data	Simbol	Nilai
Jenis Asam	-	HCl 15%
Dissolving Power	$X$	0.082
Diffusivitas Asam	$D_A$	$7 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$



Gambar 2. Skema Aliran Radial dan Skin

Pertama-tama perlu dilakukan perhitungan besarnya perbaikan *skin* yang diharapkan berdasarkan panjang radius penetrasi *wormhole* (sebagai radius skin yang ingin diperbaiki) dengan asumsi permeabilitas pada zona stimulasi tidak terbatas (Economides dan Nolte, 2000) :

$$S = -\ln\left(\frac{r_{ac}}{r_w}\right) \quad (5)$$

Diperoleh skin perbaikan sebesar -2.11. Harga skin 2.11 akan digunakan untuk menghitung laju injeksi dengan persamaan (1).  $Q_{max}$  dari perhitungan persamaan (1) divariasikan dengan lamanya waktu injeksi dengan menggunakan persamaan (2) dan (3) hingga diperoleh radius penetrasi yang diharapkan (2.2 ft). Dari laju injeksi dan waktu injeksi maka didapat volume asam yang dibutuhkan. Volume asam ini merupakan volume asam yang diperoleh dengan memperhatikan pembentukan *wormhole*.

Hasil tersebut akan dibandingkan dengan perhitungan volume asam konvensional di mana volume asam yang diperlukan diasumsikan sebesar volume zona skin yang akan diinjeksi asam.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Laju Alir Optimum**

Laju alir optimum diperoleh berdasarkan laju alir maksimum sebelum mencapai tekanan rekah formasi. Dari persamaan (1) :

$$Q_{max} = \frac{(7)(12.73)(226.4 - 130.7)}{141.2(3.1) \left[ \left( \ln \frac{0.472(250)}{(0.265)} \right) + (2.11) \right]}$$

$$Q_{max} = 2.37 \frac{\text{bbl}}{\text{d}} = 4.36 \times 10^{-9} \text{ m}^3/\text{s}$$

Laju alir max sebagai laju alir optimum digunakan untuk menghitung Peclet number pada persamaan (3).

$$N_{Pe} = \frac{4.36 \times 10^{-9}}{(7 \times 10^{-9})(3.88)} = 1.61 \times 10^2$$

Parameter  $V_A$  (volume asam) pada persamaan (2) merupakan hasil kali laju alir dengan lama waktu injeksi ( $V_A = Q \times t$ ). Disini lama waktu injeksi akan divariasikan hingga mendapat radius penetrasi sebesar 2.2 ft ( $r_A$ ). Nilai  $n_f$  dan  $b$  masing-masing sebesar 1.67 dan  $1.7 \times 10^4$  diperoleh dari dimensi fractal dan percobaan pada berbagai laju alir (Daccord, dkk., )

$$r_A^{1.67} - 0.8^{1.67} = (1.67)(1.7 \times 10^4) \frac{[(4.36 \times 10^{-9})(t)]}{2(1 - 0.2)\pi(3.88)} (1.61 \times 10^2)^{-\frac{1}{3}}$$

Hasil perhitungan persamaan (2) ditabulasikan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Perhitungan Persamaan (2)

Parameter	Simbol	Nilai
Radius penetrasi	$r_A$	2.2 ft
Lama waktu injeksi	$t$	1.44 jam
Volume Asam	$V_A$	0.14 bbl

#### Perhitungan Volume Asam Volumetrik

Dengan memasukkan data pada persamaan (4) diperoleh :

$$V_{acid} = \pi(2.2^2 - 0.265^2)(0.2)(12.73) = 8.71 \text{ bbl}$$

#### Pembahasan

Perhitungan volume asam yang diperlukan pada operasi acidizing tanpa memperhatikan pembentukan wormhole akan mendapatkan hasil yang jauh optimistis. Hal ini menyebabkan penggunaan volume yang lebih banyak dibandingkan volume asam yang optimum. Akan tetapi, dengan tingginya ketidakpastian pada reservoir karbonat terutama pada permeabilitas yang dapat bervariasi seperti adanya vug atau rekahan alami, maka perhitungan kebutuhan volume asam berdasarkan volumetrik dapat dilakukan dengan tingkat keberhasilan yang baik.

Laju injeksi asam berperan penting dalam pembentukan struktur wormhole yang akan

terbentuk. Struktur wormhole dominan terbentuk pada kondisi laju injeksi optimum. Walaupun pada operasi di lapangan dibuat lebih tinggi daripada laju injeksi optimum berdasarkan percobaan coreflooding pada beberapa referensi. Sehingga batasan tekanan rekah formasi dapat menjadi parameter yang menentukan laju injeksi optimum pada operasi acidizing di lapangan.

#### KESIMPULAN

Perhitungan kebutuhan volume asam secara volumetrik akan menghasilkan volume asam yang lebih optimis dibandingkan dengan metode yang memperhatikan pembentukan wormhole.

Untuk operasi matrix acidizing di reservoir karbonat direkomendasikan menggunakan laju injeksi maksimal yang dapat dilakukan (dengan memperhitungkan tekanan rekah formasi) untuk mendapatkan struktur pembentukan wormhole yang optimal yaitu wormhole dominan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Al-Harty, S., Bustos, O.A., Samuel, M. et al., (2009), Option for High-Temperature Well Stimulation. *Oilfield Review*, 20(4), pp. 52-62
- Akanni, O.O., and Nasr-El-Din, H.A., (2015), The Accuracy of Carbonate Matrix-Acidizing Models in Predicting Optimum Injection and Wormhole Propagation Rates, SPE Middle East Oil & Gas Show and Conference, SPE-172575-MS.
- Daccord, G. dkk. (1989). Carbonate Acidizing : Toward a Quantitative Model of the Wormholing Phenomenon. SPE Production Engineering. pp. 63-68.
- Economides, M.J., and Nolte, K.G., (2000), Reservoir Stimulation, 3<sup>rd</sup>, John Wiley & Sons Ltd, England.
- Economides, M.J., Hill, A.D., Ehlig-Economides, C. et al., (1994), Petroleum Production System.
- Schechter, S.R. (1992). Oil Well Stimulation. Prentice-Hall, Inc. A Simon & Schuster Company Englewood Cliffs. New Jersey.