

DOI: <https://doi.org/10.38035/jimt.v5i6>

Received: 22 Juli 2024, Revised: 29 Juli 2024, Publish: 18 Agustus 2024

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

## Evaluasi Hasil Metode Hydraulic Fracturing Pada Batuan Limestone Sumur AX Lapangan BY

Abdul Kamid<sup>1</sup>, Winarto Winarto<sup>2</sup>, Desi Kusri<sup>3</sup>, Ismanu Yudiantoro<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Institut Teknologi Petroleum Balongan, Indramayu, Indonesia, [hamied45@gmail.com](mailto:hamied45@gmail.com)

<sup>2</sup>Institut Teknologi Petroleum Balongan, Indramayu, Indonesia, [WINTPETRO466@gmail.com](mailto:WINTPETRO466@gmail.com)

<sup>3</sup>Institut Teknologi Petroleum Balongan, Indramayu, Indonesia, [desiakamigas18@gmail.com](mailto:desiakamigas18@gmail.com)

<sup>4</sup>Institut Teknologi Petroleum Balongan, Indramayu, Indonesia, [ismanu.yudiantoro@gmail.com](mailto:ismanu.yudiantoro@gmail.com)

Corresponding Author: [hamied45@gmail.com](mailto:hamied45@gmail.com)<sup>1</sup>

**Abstrak:** *Hydraulic Fracturing* merupakan kegiatan stimulasi untuk memperbaiki sumur karena adanya kerusakan pada formasi dengan menginjeksikan fluida dasar perekah pada tekanan tinggi untuk menciptakan saluran dan ditahan dengan material pengganjal (*proppant*) agar saluran atau rekahan yang terbentuk tidak menutup kembali. Sumur AX pada Lapangan BY merupakan salah satu sumur yang dilakukan stimulasi menggunakan *hydraulic fracturing* pada tanggal 14 November 2019. Sumur AX memiliki *mineralogy* batuan *limestone* dengan permeabilitas yang rendah yaitu sekitar 9,8 md dengan nilai porositas berkisar 17% sehingga sumur ini tidak produktif untuk memproduksi hidrokarbon. Fluida perekah yang digunakan adalah *Water Base Fluid* yaitu fluida perekah berbahan dasar air dan *proppant* yang digunakan adalah *Carbolite 20/40*. Proses pelaksanaan *hydraulic fracturing* dimulai dengan melakukan *breakdown test*, *step rate test*, *mini frac*, dan *main frac* dengan tahapan mentransfer *proppant* dimulai dengan *pre-pad*, *slug*, *pad*, dan *flush*. Setelah dilakukan stimulasi metode *hydraulic fracturing*, sumur AX mengalami kenaikan permeabilitas sekitar 363,46 md dengan permeabilitas rata-rata berkisar 44,72 md diikuti dengan kenaikan *productivity index* berkisar 3,20. Laju produksi pada sumur AX sebelum diproduksi sebesar 41 BLPD dengan produksi minyak sebesar 3 BOPD dan setelah dilakukan *hydraulic fracturing*, mengalami kenaikan sebesar 272 BLPD serta produksi minyak sebesar 112 BOPD, sehingga sumur AX dikatakan berhasil dari segi operasional dan produksi. Berdasarkan hasil perhitungan *pay out time* didapatkan hasil pada hari ke-20 sumur AX dapat menutupi biaya *hydraulic fracturing*.

**Kata Kunci:** Hydraulic Fracturing, Permeability, Inflow Performance Relationship

### PENDAHULUAN

Suatu sumur sering mengalami penurunan produksi akibat adanya kerusakan formasi (*formation damage*). Kerusakan formasi dapat terjadi akibat dari kegiatan operasi pemboran ataupun operasi produksi. Selain itu terdapat karakteristik formasi yang membuatnya dianggap kurang produktif apabila berproduksi nantinya. Maka dari itu perlu dilakukan stimulasi atau perbaikan agar hambatan atau masalah yang terjadi pada suatu sumur dapat diminimalisir. Ada

beberapa metode stimulasi yang dapat dilakukan untuk meningkatkan produktivitas sumur, antara lain *acidizing* dan *hydraulic fracturing*. Maka dari itu perlu diketahui terlebih dahulu alasan suatu sumur dilakukan stimulasi agar produktivitas sumur meningkat.

*Hydraulic fracturing* biasanya digunakan pada sumur yang memiliki laju produksi yang kurang maksimal atau terdapat masalah pada sumur atau formasi, seperti permeabilitas formasi yang rendah, adanya kerusakan disekitar sumur atau adanya faktor *skin*. Tujuan yang ingin dicapai yaitu mengetahui alasan dilakukannya stimulasi dengan metode *hydraulic fracturing* pada sumur tersebut, dapat menghitung permeabilitas setelah dilakukan *hydraulic fracturing*, mengevaluasi sumur sesudah dilakukannya kegiatan *hydraulic fracturing*, dan mengetahui hasil *Pay Out Time* setelah dilakukan metode *hydraulic fracturing*.

Sumur AX pada lapangan BY merupakan salah satu sumur milik PT. PERTAMINA EP Asset 3 yang dilakukan stimulasi dengan metode *hydraulic fracturing* oleh perusahaan PT. Bukitapit Bumi Persada. Sumur ini memiliki cadangan hidrokarbon yang ekonomis apabila diproduksi namun memiliki *reservoir* dengan permeabilitas yang cukup rendah sehingga fluida pada *reservoir* sulit untuk mengalir ke dalam sumur hingga kepermukaan.

## METODE

Dalam melaksanakan Tugas Akhir, dibutuhkan menelaah literatur-literatur yang berhubungan dengan tema dan berkonsultasi secara langsung dengan pembimbing lapangan dan dosen yang memahami tema yang diambil. Pengumpulan data pada Tugas Akhir dengan cara bertanya langsung kepada pembimbing lapangan mengenai data yang dibutuhkan seperti data sumur, data *reservoir* dan data produksi. Dalam kegiatan Tugas Akhir ini dilakukan perhitungan untuk mencari nilai permeabilitas setelah rekahan, menghitung dan membuat grafik *inflow performance relationship*, dan menghitung nilai POT (*pay out time*) maka dilakukan analisa dan evaluasi setelah dilakukannya stimulasi dengan metode *hydraulic fracturing*.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Stimulasi

Stimulasi adalah proses menstimulasikan sumur atau merangsang sumur yang bertujuan memperbaiki sumur yang mengalami kerusakan formasi akibat dari operasi pemboran (*induced damage*) atau proses produksi (*natural damage*) yang menyebabkan permeabilitas batuan menjadi kecil dibandingkan dengan permeabilitas alaminya sebelum terjadi kerusakan formasi seperti *skin* dan *scale*, pengecilan permeabilitas batuan formasi ini akan mengakibatkan terhambatnya aliran fluida dari formasi menuju ke lubang sumur sehingga pada akhirnya akan menyebabkan turunnya produktivitas suatu sumur.

*Acidizing* adalah salah satu proses perbaikan terhadap sumur untuk menanggulangi atau mengurangi kerusakan formasi dalam upaya peningkatan laju produksi dengan melarutkan sebagian batuan, dengan demikian akan memperbesar saluran yang tersedia atau barangkali lebih dari itu membuka saluran baru sebagai akibat adanya pelarutan atau reaksi antara acid dengan batuan.

*Acid washing* adalah operasi yang direncanakan untuk menghilangkan endapan *scale* yang dapat larut dalam larutan asam yang terdapat dalam lubang sumur untuk membuka perforasi yang tersumbat. *Acid fracturing* adalah salah satu teknik pengasaman yang paling banyak digunakan untuk menstimulasikan batu kapur atau dolomit. Penginjeksian asam ke dalam formasi pada tekanan yang cukup tinggi untuk merekahkan formasi atau membuka rekahan yang sudah ada.

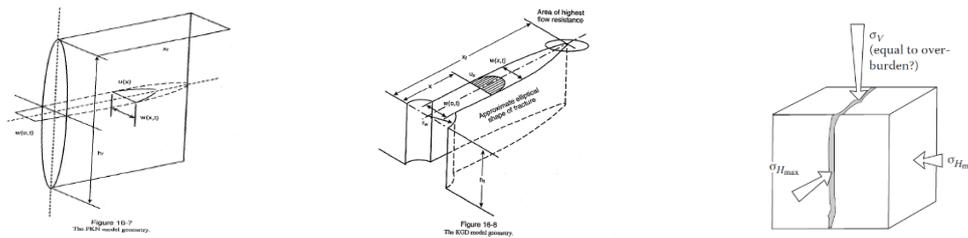
*Matriks acidizing* dilakukan dengan cara menginjeksikan larutan asam dan additif tertentu secara langsung ke dalam pori-pori batuan formasi disekitar lubang sumur dengan tekanan penginjeksian di bawah tekanan rekah formasi, dengan tujuan agar reaksi menyebar ke formasi secara radial.

*Hydraulic fracturing* dan Perakahan hidrolik sebagai teknik kompleks untuk memproduksi hidrokarbon yang *unconsolidated* (reservoir yang memiliki kerapatan antar butiran kurang kuat), tidak terlalu dalam tetapi memiliki cadangan hidrokarbon yang menjanjikan, mengurangi *problem* kepasiran, serta mengurangi *skin* dan menaikkan permeabilitas supaya produktivitas sumur meningkat.

**Mekanika Batuan**

**Stress**

Stress adalah jika suatu gaya bekerja pada benda dengan luas penampang tegak lurus terhadap arah gaya maka tegangan yang diinduksi pada benda ini sama dengan gaya dibagi luas. Tegangan didefinisikan sebagai rasio gaya terhadap luas penampang tempat gaya diterapkan.

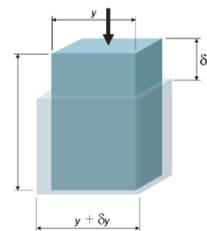


**Gambar 1. Stress**

(Sumber: Petroleum Production Engineering Guo, Liu, dan Tan Hal: 391)

**Poisson Ratio**

Poisson ratio adalah ukuran seberapa banyak material akan berubah bentuk dalam arah tegak lurus terhadap arah gaya yang diterapkan, sejajar dengan bidang tempat tegangan yang diinduksi oleh regangan yang bekerja. Didefinisikan sebagai regangan pada arah dibongkar dibagi regangan pada arah yang dimuat.



**Gambar 2. Possion Ratio**

Sumber: Modern Fracturing Enhancing Natural Gas Production Hal: 117

**Fluida Perekah dan Additive**

Fluida perekah adalah fluida yang digunakan untuk membuka atau merekahkan dan mentransportasikan *proppant* disepanjang rekahan. *Additive* merupakan bahan-bahan yang ditambahkan ke dalam fluida perekah dengan komposisi tertentu sehingga menghasilkan performa yang sesuai dengan yang diharapkan.

**Proppant**

*Propping agent (Proppant)* adalah suatu material yang digunakan sebaga pengganjal celah hasil dari perekahan yang dihantarkan oleh fluida perekah ke dalam rekahan agar celah tersebut tidak tertutup kembali pada bentuk semula.

**Model Geometri Rekahan**

Model dua dimensi adalah pendekatan analitik bentuk tertutup dengan asumsi konstanta dan tinggi fraktur yang diketahui. Untuk panjang rekahan jauh lebih besar dari pada tinggi rekahan ( $x_f \gg h_f$ ), Perkins dan Kern (1961) dan Nordgren (1972) atau model PKN adalah perkiraan yang tepat. Untuk panjang rekahan lebih besar dari tinggi rekahan ( $x_f \ll h_f$ ), model yang sesuai telah disajikan oleh Khristianovic (h) dan Zheltov (1955) serta Geertsma dan de Klerk (1969) ini sering dikenal sebagai model KGD.

**Gambar 3.** Model Geometri Rekahan PKN dan KGD  
 Sumber: Petroleum Production System, M.J Economides, hal: 436 dan 437

Model p-3-D memungkinkan migrasi rekahan vertikal di sepanjang jalur rekahan, dan migrasi tergantung pada perbedaan tekanan antara target dan interval yang berdekatan.

Perluasan rekahan planar 3D, aliran fluida 2D. Faktor-faktor seperti lubang sumur orientasi atau pola perforasi dapat menyebabkan fraktur untuk memulai ke arah tertentu sebelum berubah menjadi orientasi akhir yang disukai (tegak lurus ke tegangan in-situ minimum medan jauh).

**Tahapan Hydraulic Fracturing**

*Step Rate Test*, untuk mengetahui laju injeksi pada saat batuan mulai rekah serta mengukur kekuatan dari pipa, pompa, serta packer. *Step up test* (laju peningkatan injeksi) dan *step down test* (laju penurunan injeksi).

*Mini Fracturing*, memberikan informasi atau data sebelum dilakukan eksekusi yang sebenarnya.

*Main Fracturing*, setelah diketahui data yang ada di dalam lubang sumur melalui *step rate test* dan *mini frac*, maka dilakukan verifikasi desain awal untuk dilakukan eksekusi utama dalam *hydraulic fracturing*.

*Flusing*, untuk mendorong proppant yang telah dialirkan ke dalam sumur agar masuk ke dalam formasi rekahan.

**2.1 Evaluasi Hasil Metode Hydraulic Fracturing**

**Permeabilitas Formasi**

Besarnya harga permeabilitas setelah rekahan ( $K_f$ ) dan harga distribusi permeabilitas rata-rata ( $K_{avg}$ ) dapat dihitung dengan persamaan Howard & Fast. [11]

$$K_f = \frac{(K \times h) + W_{kf}}{h} \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.1)}$$

$$K_{avg} = \frac{\log\left(\frac{r_e}{r_w}\right)}{\left(\frac{1}{K_f}\right) \log\left(\frac{x_f}{r_w}\right) + \left(\frac{1}{K_i}\right) \log\left(\frac{r_e}{x_f}\right)} \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.2)}$$

**Productivity Index (PI)**

Dengan Metode **Cinco-Ley, Samaniego Dan Dominiquez**

$$FCD = \frac{WK_f}{K_i \times X_f} \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.3)}$$

Grafik  $rw'$  pada lampiran

$$K2P = \frac{\ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right)}{\ln\left(\frac{r_e}{rw'}\right)} \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.4)}$$

**Perhitungan IPR (Inflow Performance Relationship)** dengan metode **Pudjo Sukarno** yang memiliki konstanta C yang sudah ditetapkan pada tabel. Adapun persamaan yang digunakan yaitu:

$$\frac{WC}{WC@Pwf=Pr} = P1 \text{ Exp} \left( P2 \frac{Pwf}{Pr} \right) \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.5)}$$

Dimana P1 dan P2 tergantung dari harga water cut.

$$P1 = 1,0606207 - 0,130447 \ln(WC) \dots \text{(Persamaan 2.6)}$$

$$P1 = -0,517792 + 0,110604 \ln(WC) \dots \text{(Persamaan 2.7)}$$

$$An = C0 + C1 (WC) + C2(WC)^2 \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.8)}$$

$$\frac{Q_o}{Q_{max}} = A_0 + A_1\left(\frac{P_{wf}}{P_s}\right) + A_2\left(\frac{P_{wf}}{P_s}\right)^2 \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.9)}$$

**Perhitungan Pay Out Time (POT)**

Dengan persamaan sebagai berikut:

$$POT = m + (m_2 - m_1) \left(\frac{CCF_m}{CCF_{m2} - CCF_m}\right) \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.10)}$$

**Alasan Dilakukan Hydraulic Fracturing**

1. Mempunyai tekanan *reservoir* ( $P_r$ ) yang mencukupi sebesar 1700 psi.
2. Potensi hidrokarbon yang dapat diproduksi pada sumur AX sekitar 300 BOPD.
3. Harga permeabilitas ( $k$ ) dan porositas yang relatif kecil, sumur AX mempunyai permeabilitas 9.8 mD dan porositas 16 %.
4. Riwayat sumur AV pada lapisan N yang dilakukan *acidizing* namun yang menembus zona air.

**Daerah Penelitian**

Sumur AX merupakan salah satu sumur milik PT. Pertamina Asset 3 pada *field* Jatibarang. Sumur AX berada pada cekungan Jawa Barat Utara. *Reservoir* sumur AX terletak pada formasi Cibulakan pada lapisan N yang terdiri atas batu gamping atau *limestone* yang merupakan salah satu batuan karbonat yang komposisi mineralnya seperti Kalsit ( $CaCO_3$ ), Dolomit ( $CaMg(CO_3)_2$ ) dan Argonit yang mengalami proses diagenesis mulai dari proses pelarutan, sementasi, dolomitasi dan kompaksi.

**Preparasi Data**

Sumur AX memiliki data penunjang seperti data well profile, data sumur, data *reservoir* dan data produksi yang tertera pada tabel dibawah.

**Tabel 1.** Geometri Rekahan  
Sumber: BBP, Post Job Report 2021

Nama Sumur	AX	
Lapangan	BY	
Lapisan	N ( <i>Limestone</i> )	
<b>Wellbore Data (Directional Well)</b>		
<i>Data</i>	<i>Value</i>	<i>Unit</i>
<i>Total Depth</i>	1978	m MD
<i>TVD</i>	1841	m MD
<i>Perforation Target (J)</i>	1410-1415	m MD
<b>Reservoir Data</b>		
<i>Hydrocarbon Type</i>	<i>Oil &amp; Gas</i>	
<i>°API</i>	NA	
<i>Reservoir Pressure</i>	~1700	Psi
<i>Reservoir Temperature</i>	180	°F
<i>Permeability</i>	9.8 ( <i>Mini</i>	mD
	<i>Frac Analysis</i> )	
<i>Thickness</i>	5	M
<i>Porosity</i>	16	%
Jari-jari Pengurasan ( $r_e$ )	250	m
Jari-jari Sumur ( $r_w$ )	4,25	Inch

**Perencanaan Hydraulic Fracturing Fluida Perekah dan Additive**

Fluida pererah yang digunakan dalam pekerjaan *hydraulic fracturing* pada sumur AX adalah fluida berbahan dasar air yang di desain memiliki spesifikasi *high temperature* yang mampu bertahan pada temperatur sekitar 180°F sampai 240°F, dengan nilai pH berkisar 11. Air yang akan dijadikan fluida dasar harus memiliki pH sekitar 6 sampai 8, kadar besi kurang dari 10 ppm, tidak berwarna dan berbau, dan kandungan klorin dalam air kurang dari 200 ppm. *Additive* yang ditambahkan pada fluida pererah tersebut antara lain, *bactericide* berfungsi untuk mengurangi pertumbuhan bakteri pada fluida pererah, *gelling agent* yaitu berfungsi untuk meningkatkan viskositas fluida pererah, *mutual solvent* untuk mengurangi saturasi air di dekat lubang sumur dan mengurangi viskositas *hydrocarbon*, *nonionic surfactant* berfungsi untuk memperkecil tegangan permukaan, mempermudah terjadinya rekahan dan juga bisa mencegah terjadinya emulsi, *gel stabilizer* untuk menstabilkan fluida pererah agar bersifat *gel*, *crosslinker* berfungsi untuk meningkatkan viskositasnya sehingga mampu membawa *proppant* jauh ke dalam rekahan dan menghindari *settling proppant* pada saat pemompaan, *buffers* berfungsi untuk menstabilkan dan meningkatkan kadar pH fluida pererah sampai 12, *gel breaker* untuk memecahkan rantai *polymer* untuk menurunkan viskositas fluida pererah dan KCl 4 % berfungsi sebagai *clay stabilizer* yang berfungsi untuk mencegah menyebarnya mineral *clay* yang menyebabkan *swelling*.

### Proppant

*Proppant* atau *propping agent* yang digunakan dalam pelaksanaan *hydraulic fracturing* pada sumur AX adalah jenis *Carbo Ceramics* yaitu *Carbo-Lite* <sup>20/40</sup>. *Carbolite* merupakan salah satu *proppant* jenis *low-density-ceramic* yang memiliki *specific gravity* hampir sama dengan pasir yaitu 2,71. *Carbolite* 20/40 mampu menahan *closure pressure* mulai dari 2000 psi sampai dengan 10000 psi pada temperatur hingga 250°F atau sekitar 121°C. *Proppant* 20/40 memiliki maksud bahwa *proppant* dapat melewati *screen* ukuran 20 *mesh*, namun tersaring pada *screen* 40 *mesh*. *Carbolite* juga memiliki kekurangan yaitu memiliki harga yang cukup mahal.

### Pelaksanaan Hydraulic fracturing Breakdown Test

*Breakdown test* yaitu proses memompakan fluida atau *slick water* pada tekanan yang tidak terlalu tinggi untuk menyeragamkan antara fluida kompleks dengan fluida pererahan dan tekanan dimana formasi dapat merekah atau pecah. *Breakdown test* dimulai dengan memompakan fluida pada rate 4,5 bpm sampai 15,5 bpm pada tekanan 59,5 psi hingga 3704 psi.

### Step Rate Test

Pada sumur AX dilakukan *breakdown test* yang diikuti dengan *step rate test* dengan memompakan fluida *slick water*. *Step rate test* dilakukan dengan rate 0,8 sampai 17,8 bpm dengan kenaikan tekanan maksimum 4400 psig. Dari kegiatan *step rate test* didapatkan data tekanan *frac extension* 690 psi dan rate 2,7 bpm dan pada analisa *step down test* didapatkan adanya kehilangan tekanan didominasi oleh faktor lubang perforasi.

### Mini Frac

*Mini frac* yang dilakukan pada sumur AX dengan memompakan fluida pererah *water base fluid* dan menambahkan *additive crosslinker*, *buffer*, dan *breaker* untuk membuka rekahan lebih dalam pada rate 16,6 sampai 18,6 bpm pada tekanan yang berbeda sekitar 4738 psi sampai 3432 psi. Total fluida yang dipompakan 180 bbl dan 30 untuk *displacement*. Setelah selesai pemompaan, sumur ditutup pada rate 0 bpm dengan tekanan 882 psi dan dilanjutkan dengan pengamatan serta analisa data dan tekanan untuk mendapatkan data ISIP sebesar 770 psi dengan *stress gradient* 0,52 psi/ft dan efisiensi fluida pererah sekitar 66%.

### Main Frac

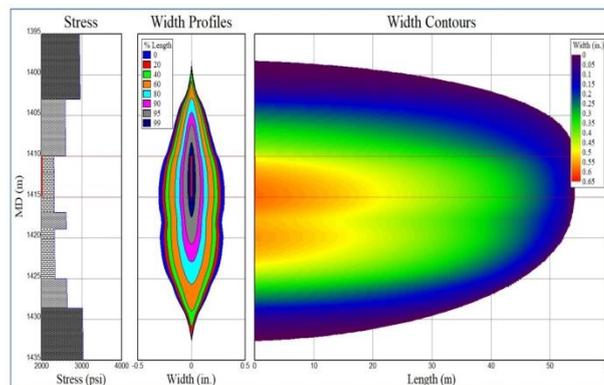
*Mainfrac* adalah pekerjaan utama dalam proses *hydraulic fracturing*. Ini merupakan tahap terakhir yang dilakukan dengan menginjeksikan fluida perekah dan membawa proppant yang digunakan untuk menahan rekahan agar tetap terbuka. Jenis fluida dasar dan proppant yang digunakan pada sumur AX adalah dan *Carbolite 20/40*. Pada *minifrac* melakukan kegiatan *pre-pad* pada rate 17,10 bpm pada tekanan 4147 psi. *Slug* dengan menginjeksikan fluida dan *proppant* pada konsentrasi 0,5 ppa pada rate 17,20 bpm pada tekanan 3897 psi. *pad* dilakukan pada rate 18,80 bpm pada tekanan 4224 psi. Selanjutnya diikuti dengan menginjeksikan *proppant* pada interval rate 18,70 bpm sampai 18,50 bpm dengan konsentrasi mulai dari 1 ppa sampai 6 ppa pada tekanan 4201 psi sampai 4188 psi dan *flush* dengan menginjeksikan fluida pada rate 18,70 bpm pada tekanan 3673 psi untuk mendorong proppant ke dalam rekahan dengan mengguakan *slick water* sebanyak 32,15 bbl. Total proppant yang telah dipompakan sebanyak 35850 lb.

### Analisa Geometri rekahan

Dari hasil rekahan yang terjadi pada sumurAX, antara *initial design*, dan *final design* menunjukkan hasil final disain tidak jauh berbeda dengan hasil desain yang direncanakan.

**Tabel 2.** Geometri Rekahan  
Sumber: BBP, Post Job Report 2021

Parameter	Unit	Post Job Report
Panjang rekahan	m	54
Lebar rekahan	Inch	0,15
Tinggi rekahan	m	26
Konduktivitas rekahan	md.ft	5800
Dimensionless Conductivity		3,3



**Gambar 3.** Geometri Rekahan  
Sumber: BBP, Post Job Report 2021

### Analisis Produksi

Harga permeabilitas setelah rekahan ( $K_f$ ) dan harga distribusi permeabilitas rata-rata ( $K_{avg}$ ) sebagai hasil dilakukannya *hydraulic fracturing* pada sumur AX dengan menggunakan persamaan **Howard dan Fast** (Santoso, R. Reynaldi, dkk: 252).

$$\begin{aligned}
 K_f &= \frac{(K \times h) + W_{kf}}{h} \\
 &= \frac{(9,8 \times 16,4) + 5800}{16,4}
 \end{aligned}$$

$$= 363,46 \text{ mD}$$

$$K_{avg} = \frac{\log\left(\frac{r_e}{r_w}\right)}{\left(\frac{1}{K_f}\right)\log\left(\frac{X_f}{r_w}\right) + \left(\frac{1}{K_i}\right)\log\left(\frac{r_e}{X_f}\right)}$$

$$= \frac{\log\left(\frac{820,21}{0,35}\right)}{\left(\frac{1}{262,3}\right)\log\left(\frac{177,17}{0,35}\right) + \left(\frac{1}{9,8}\right)\log\left(\frac{820,21}{177,17}\right)}$$

$$= 44,72 \text{ mD}$$

**Analisis Productivity Index (PI)**

Perhitungan Peningkatan Indeks Produktivitas dengan Metode **Cinco-Ley, Samaniego dan Dominique**. Metode ini umum digunakan untuk mengevaluasi kenaikan kelipatan produktivitas (K2P) pada sumur yang dilakukan

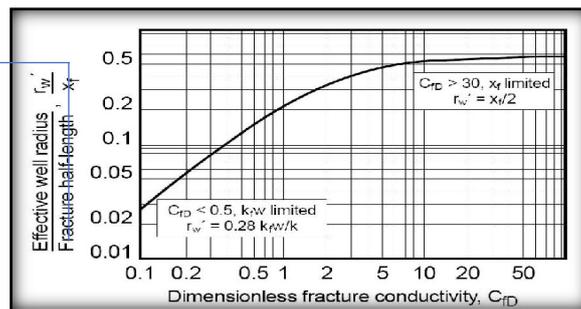
*hydraulic fracturing*.

Perhitungan FCD:

$$FCD = \frac{WK_f}{K_i \times X_f}$$

$$= \frac{5800}{9,8 \times 177,17}$$

$$= 3,34$$



**Gambar 4.** Grafik FCD

Sumber: (Economides, Michael J., Kenneth G. Nolte. “Reservoir Stimulation”. 5-12)

$$r_w' = 0.41 \times X_f$$

$$= 0,4 \times 177,17$$

$$= 72,64 \text{ ft}$$

Peningkatan produktivitas sesudah *fracturing* adalah:

$$K2P = \frac{\ln\left(\frac{r_e}{r_w'}\right)}{\ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right)}$$

$$= \frac{\ln\left(\frac{820,21}{72,64}\right)}{\ln\left(\frac{820,21}{0,35}\right)}$$

$$= 3,20$$

$$S = -\ln\left(\frac{r_w'}{r_w}\right)$$

$$= -\ln\left(\frac{72,64}{0,35}\right)$$

$$= -5,34$$

**Analisis Inflow Performance Relationship (IPR)**

Kurva IPR dibuat dengan metode **Pudjo-Sukarno** yang merupakan aliran tiga fasa dengan memperhitungkan faktor *skin* dan perhitungan *water cut* yang lebih akurat.

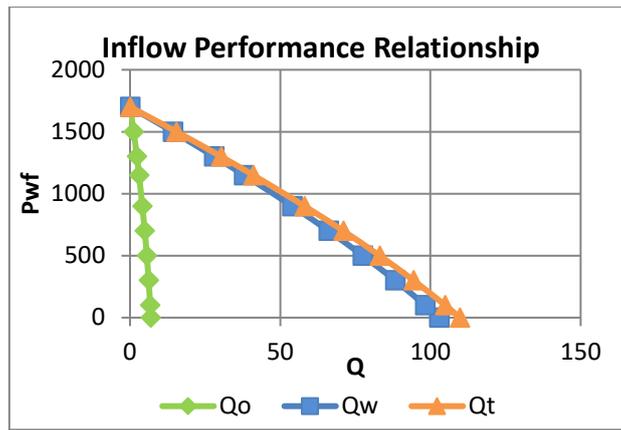
**Tabel 5.** Data Produksi  
Sumber: BBP, Post Job Report 2021

Data Produksi	Sebelum	Sesudah	Unit
Tekanan Statistik Reservoir (Pr)	1700	1700	Psi
Tekanan Alir Dasar Sumur (Pwf)	1150	1150	Psi
Laju Alir Fluida (QL)	41	272	BLPD
Laju Alir Oil (Qo)	3	112	BOPD

**Tabel 6.** Inflow Performance Relationship Sebelum Hydraulic Fracturing

P <sub>wf</sub> (Psi)	Q <sub>o</sub> (BOPD)	Water Cut (%)	Q <sub>w</sub> (BWPD)	Q <sub>t</sub> (BFPD)
0	6,9	93,7	102,9	109,8
100	6,7	93,7	98,2	104,9
300	6,2	93,5	88,3	94,4
500	5,6	93,3	77,5	83,1
700	4,9	93,1	66,1	71,0
900	4,1	92,9	54,0	58,1
1150	3,0	92,7	38,0	41,0
1300	2,3	92,5	28,0	30,3
1500	1,2	92,4	14,3	15,5
1700	0	92,2	0	0

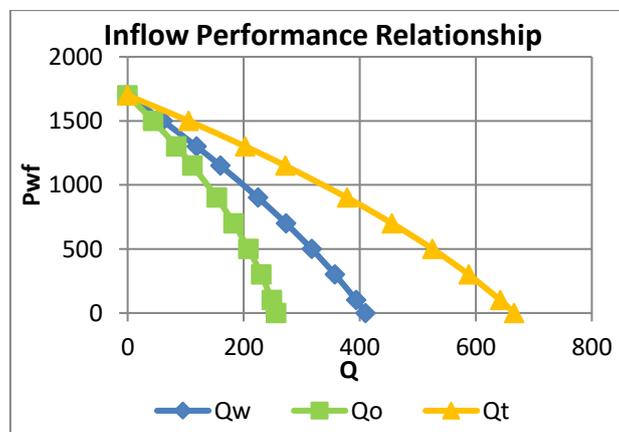
**Grafik 1.** Inflow Performance Relationship Sebelum Hydraulic Fracturing

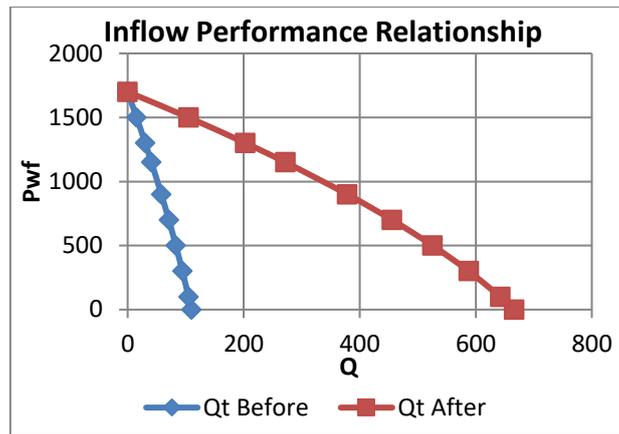


**Tabel 7.** *Inflow Performance Relationship Setelah Hydraulic Fracturing*

$P_{wf}$	$Q_o$	Water Cut	$Q_w$	$Q_t$
(Psi)	(BOPD)	(%)	(BWPD)	(BFPD)
0	256,15	61,56	410,15	666,31
100	248,43	61,31	393,73	642,16
300	230,23	60,83	357,56	587,79
500	208,37	60,35	317,19	525,56
700	182,84	59,88	272,87	455,71
900	153,65	59,41	224,86	378,51
1150	112,00	58,82	160,00	272,00
1300	84,26	58,48	118,66	202,93
1500	44,07	58,02	60,90	104,98
1700	0	57,56	0	0

**Grafik 2.** *Inflow Performance Relationship Setelah Hydraulic Fracturing*





Grafik 3. Inflow Performance Relationship Sebelum dan Setelah Hydraulic Fracturing

**Analisa Performa Produksi**

Sebelum dilakukannya stimulasi dengan metode *hydraulic fracturing*, sumur memiliki *water cut* yang tinggi dimana pada grafik 5.8 laju alir fluida hampir sama dengan laju alir dari air. Laju alir fluida, air, minyak dan gas sebelum dilaksanakannya stimulasi saat itu sekitar 3 BOPD, 38 BPD, 41 BFPD, 13,75 MSCFD dengan *water cut* sekitar 93% . Setelah dilaksanakannya *hydraulic fracturing*, sumur AX mula-mula memproduksi air hingga akhirnya dapat memproduksi minyak sekitar 112 BOPD, air sekitar 160 BWPD, gas sekitar 13,3 MSCFD, fluida sekitar 272 BFPD dengan *water cut* yang cukup tinggi yaitu rata-rata berkisar 59 %.

**Analisis Keekonomian Sederhana**

Setelah didapat tabel *pay out time*, barulah kita dapat mengetahui Indikator Keuntungan atau seberapa lama produksi Sumur AX untuk dapat menutupi keseluruhan dari biaya *hydraulic fracturing* dengan menggunakan metode POT (*pay out time*), yang mana perhitungannya ialah sebagai berikut:

Tabel 8. Data Pay Out Time

Hari	Qo BOPD	Pemasukan A	Kumulatif (A-B)
17	100	Rp 77.635.900,00	-Rp 168.384.528,00
18	115	Rp 89.281.285,00	-Rp 79.103.243,00
19	112	Rp 86.952.208,00	Rp 7.848.965,00
20	112	Rp 86.952.208,00	Rp 94.801.173,00

$$\begin{aligned}
 POT &= m + (m_2 - m_1) \left( \frac{CCFm}{CCFm_2 - CCFm} \right) \\
 &= 19 + (19-18) \left( \frac{-79.103.243}{7.848.965,00 + (-79.103.243,00)} \right) \\
 &= 20,11 \text{ hari} \\
 &= 20 \text{ hari}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan Indikator Keuntungan dengan menggunakan metode POT (*pay out time*), didapat bahwa produksi dari sumur AX akan dapat menutupi biaya keseluruhan dari pengerjaan stimulai *hydraulic fracturing* pada hari ke-20.

## KESIMPULAN

Dari hasil Tugas Akhir dengan judul Evaluasi Hasil Metode Hydraulic Fracturing Pada Batuan Limestone Sumur AX Lapangan BY yang telah dilakukan oleh penulis, maka dapat diketahui dan ditarik kesimpulan bahwa:

1. Sumur AX terdiri atas formasi batuan *limestone* dengan nilai porositas dan permeabilitas yang rendah (*tight* atau ketat) sekitar 9,8 mD dan 16%, namun memiliki cadangan *hydrocarbon* yang sangat ekonomis karena produksi mengalami kenaikan dan mampu menutup biaya dari kegiatan *hydraulic fracturing*.
2. Sumur AX lapangan BY memiliki Permeabilitas sebelum *hydraulic fracturing* sebesar 9,8 mD dan setelah dilakukan *hydraulic fracturing* sekitar 43 md.
3. Fluida perekah yang digunakan adalah *water base fluid* atau fluida berbasis dasar air dengan campuran *additive* seperti, KCl, *Gelling Agent*, *Bactericide*, *Mutual Solvent*, *Nonionioic Surfactant*, *pH Buffer*, *Crosslinker*, *Gel Breaker*. *Proppant* atau *propping agent* yang digunakan adalah *Carbolite Sand Frac Proppant 20/40*. Berdasarkan perhitungan *Productivity Index* dengan metode **Cinco-Ley, Samaniego dan Dominique**, sesudah *hydraulic fracturing* yang dilakukan pada sumur AX menunjukkan peningkatan sebesar 3,20. Berdasarkan data produksi, setelah dilakukannya *hydraulic fracturing* pada sumur AX dikatakan berhasil, dari segi teknik dan operasional. Namun mengalami penurunan produksi secara perlahan, tetapi produksi *hydrocarbon* mengalami peningkatan, dan produksi air mengalami penurunan.
4. Berdasarkan hasil perhitungan *Pay Out Time*, Sumur AX dapat menutup biaya dari kegiatan *hydraulic fracturing* pada hari ke-20.

## REFERENSI

- Brown, E. Kermit. 1977. *The Technology Of Artificial Lift Methods Vol 1*. Penwell Publishing Company: Tulsa, Oklahoma
- Brown, E. Kermit. 1984. *The Technology Of Artificial Lift Methods Vol 4*. Penwell Publishing Company: Tulsa, Oklahoma
- Cahyaningsih, Bimbi., Prabu, Ubaidillah Anwar., Herlina, Weni. Evaluasi Hasil Aplikasi Hydraulic Fracturing Pada Reservoir Karbonat Sumur BCN-28 Di Struktur App PT Pertamina Ep Asset 2 Pendopo Field.
- Donaldson, Erle C., Alam, Waqi and Begum, Nasirin. 2013. *Hydraulic Fracturing Explained: Evaluation, Implementation, and Challenges*. Houston, Texas: Gulf Publishing Company
- Economides, M.J. dan Nolte, K.G. 1989. *Reservoir Simulation*. Houston, Texas: Schlumberger Educational Services
- Economides, M.J. 2008. *Modern Fracturing-Enhancing Natural Gas Production*. Houston: Energy Tribune Publishing Inc.
- Economides, M.J., Hill, A. Daniel, Ehlig-Economides, Christine. 1993. *Petroleum Production system*. New Jersey: Prentice Hall
- Kurniawan, Imam. 2015. *Evaluasi Perekahan Hidrolik Pada Sumur Gas Bertekan Tinggi*. Universitas Trisakti
- McGuire, W.J., Sikora, V.J. *The Effect of Vertical Fracture on Well Productivity*. SPE 1618-G. The Atlantic Refining Co. Dallas, Texas
- Musnal, Ali. 2011. *Perhitungan Laju Alir Minyak Setiap Lapisan Pada Sumur Comingle*. Vol.12 No. 1
- Santoso, Reynaldi., dkk. 2015. *Evaluasi Keberhasilan Perekahan Hidrolik Pada Sumur R*

Lapangan X.

Speight, James G. 2016. Handbook of Hydraulic Fracturing. Hoboken, New-Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

Soliman, M.Y. 1983. Modification to Production Increase Calculation for Hydraulic Fractured Well. SPE 9021

William, Bert B., dkk. 1979. Acidizing Fundamentals. Society of Petroleum Engineer AIME

Yusanto, Sukma Bayu. 2019. Post Job Report. Jatibarang: PT. Bukitapit Bumi Persada

Yolanda, Apfia Grace., Latumaerissa, Murti., Fathaddin, Muh Taufiq., Christianto Widi. 2015. Evaluasi Hydarulic Fracturing Sumur Id-18, Id-25, Dan Id-29 Pada Lapangan A.