

EVALUASI HASIL APLIKASI *HYDRAULIC FRACTURING* PADA RESERVOIR KARBONAT SUMUR BCN-28 DI STRUKTUR APP PT PERTAMINA EP ASSET 2 PENDOPO FIELD

EVALUATION OF APPLICATION *HYDRAULIC FRACTURING* RESULT AT CARBONATE RESERVOIR BCN-28 WELL APP STRUCTURE IN PT PERTAMINA EP ASSET 2 PENDOPO FIELD

Bimbi Cahyaningsih¹, Ubaidillah Anwar Prabu², Weny Herlina³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya

Jl. Raya Palembang-Prabumulih Km.32 Inderalaya Sumatera Selatan, Indonesia

Telp/fax. (0711) 580137; Email: bimbi_cahyaningsih@yahoo.com

ABSTRAK

PT Pertamina EP dalam rangka mengoptimalkan produksi melakukan berbagai inovasi terhadap sumur di struktur APP, termasuk salah satunya di sumur BCN-28. Sumur BCN-28 memiliki permeabilitas rendah yaitu 5 mD, cadangan sisa 201 MSTB dengan tekanan reservoir 1721 sedangkan laju aktualnya hanya 8 bopd, sehingga pada tanggal 25 Agustus 2012 dilakukan hydraulic fracturing. Hydraulic fracturing harus di evaluasi keberhasilannya untuk dapat dijadikan refrensi. Dalam evaluasi keberhasilan hydraulic fracturing dengan menggunakan data produksi, data reservoir dan geometri rekah, akan dilihat model rekahan, indeks produktivitas yang dihasilkan dari geometri rekahan, pengaruh proses hydraulic fracturing terhadap permeabilitas formasi serta kurva IPR setelah dilakukan hydraulic fracturing. Secara umum tahapan pada hydraulic fracturing adalah tubing pressure test, tubing pickling, step rate test, minifrac dan mainfrac. Pada proses hydraulic fracturing data dianalisa dengan anggapan bahwa model rekahan yang dapat terbentuk adalah model 2D, yaitu model PKN (Perkins, Kern & Nordgren). Analisa model PKN tersebut menghasilkan geometri rekahan (x_f , h_f , dan w_f). Selanjutnya digunakan untuk memperkirakan perbandingan indeks produktivitas (J/J_o) dengan metoda CSD (Cinco-Ley, Samaniego dan Dominique) dan persamaan vogel. Analisis yang telah dilakukan menunjukkan bahwa terjadi peningkatan laju produksi sebesar 109 BOPD, perkiraan indeks produktivitas pada sumur BCN-28 dengan metoda CSD sebesar 2.28 sedangkan persamaan vogel didapat productivity index sebesar 1.6 dan perkiraan permeabilitas formasi dengan persamaan Howard and Past sebesar 13.178 md.

Kata Kunci: Permeabilitas, Hydraulic Fracturing, Produksi.

ABSTRACT

PT Pertamina EP in order to optimize the production of doing a variety of innovations to the wells in the structure of APP, including one in the well BCN - 28. BCN - 28 wells have low permeability that is 5 mD, 201 MSTB reserves the reservoir pressure in 1721, while the actual rate of only 8 bopd, so on August 25, 2012 is to hydraulic fracturing. Hydraulic fracturing should be evaluated for its success. In evaluating the success of hydraulic fracturing using production data, reservoir data and geometry fracturing, will be the model of fracture, resulting productivity index of fracture geometry, the effects of hydraulic fracturing process to the formation permeability and IPR curve after hydraulic fracturing. In the process of hydraulic fracturing data is analyzed with the assumption that the fracture models that can be formed is a 2D model, the model of PKN (Perkins, Kern & Nordgren). PKN model analysis resulted in the fracture geometry (x_f , h_f , and w_f). Then used to estimate the productivity index ratio (J / J_o) with CSD method (Cinco - Ley, Samaniego and Dominique) and equation vogel. Analysis have shown that hydraulic fracturing where an increase in the production rate of 109 BOPD, estimates on the well productivity index BCN - 28 with the CSD method of 2.28 while vogel equation obtained productivity index of 1.6 and the estimated permeability formation with equation Howard and Past of 13.178 md.

Keyword : Permeability, Hydraulic Fracturing, Production.

1. PENDAHULUAN

Stimulasi adalah proses mengstimulasikan sumur atau merangsang sumur dengan tujuan perbaikan terhadap sumur untuk meningkatkan jalannya aliran fluida yang pada lapisan reservoir tersebut mengalami *formation damage*. Proses stimulasi telah digunakan untuk meningkatkan produksi minyak dan gas dari reservoir bawah tanah selama lebih dari empat puluh tahun [1].

Acid fracturing adalah salah satu teknik pengasaman yang paling banyak digunakan untuk mengstimulasikan formasi batu kapur atau dolomit. Dalam penggunaan *acid fracturing*, cairan pad diinjeksikan ke dalam formasi dengan *rate* yang lebih tinggi dibandingkan dengan yang dapat diterima oleh matriks *reservoir* [2].

Hydraulic fracturing adalah proses membuat rekahan atau jalur mengalirnya fluida reservoir ke lubang sumur dengan menginjeksikan *frac fluid* dengan tekanan diatas tekanan rekah formasi tersebut. Formasi yang mengalami peretakan, terus diinjeksikan menggunakan fluida untuk memperlebar rekahan yang telah terjadi. Rekahan yang terjadi akan diganjal dengan *proppant* berupa pasir dengan tujuan agar rekahan tidak akan menutup kembali [3].

Metode stimulasi yang paling sering digunakan untuk meningkatkan produktivitas sumur yang telah mengalami kerusakan formasi adalah dengan dilakukan pengasaman (*acidizing*) ataupun peretakan hidrolik (*hydraulic fracturing*), bahkan jika itu ternyata adalah kerusakan yang tidak dapat dihindari, pemahaman tentang sifat kerusakan formasi akan sangat penting dalam pemilihan metode yang tepat untuk stimulasi yang bertujuan untuk meningkatkan nilai permeabilitas formasi dan meningkatkan produktivitas sumur [4].

Sumur BCN-28 terletak di struktur APP, wilayah Sumatera Selatan. Sumur ini memiliki kedalaman 2365 meter dengan kedalaman yang sedang aktif produksi antara 2316-2322 meter. Reservoir pada sumur BCN-28 terdiri dari Formasi Baturaja yang berupa batu gamping (*limestone*) dengan jumlah hidrokarbon yang cukup besar. Akan tetapi lapisan ini memiliki permeabilitas yang rendah, yaitu memiliki permeabilitas formasi rata-rata 5 md, produksi kecil sedang kadar air yang cukup besar. Sumur BCN-28 pada struktur APP mengalami *formation damage* akibat dari proses produksi sehingga terbentuk *scale*. Stimulasi kali kedua dengan *acid frac* yang telah dilakukan pada Sumur BCN-28 untuk memperbaiki *formation damage*, tidak mampu menghilangkan *scale* yang terbentuk. *Hydraulic fracturing* pada sumur horizontal yang dilakukan untuk pertama kalinya di Struktur APP, diharapkan akan mampu mengembalikan kondisi sumur ini seperti awal produksinya. Tekanan yang telah direkam dengan *down hole sensor* pada Sumur BCN-28, menunjukkan bahwa penurunan tekanan statik dari reservoir sangat drastis dan kemudian sumur ini tidak dapat berproduksi lagi. Rendahnya aliran dari reservoir ini ke lubang sumur, stimulasi sumur dengan teknik *acidizing* pernah dilakukan pada sumur BCN-28 untuk meningkatkan produktivitasnya, hasil dari stimulasi ini tidak berhasil karena permeabilitas reservoir sumur tersebut yang terlalu rendah. Oleh karena itu untuk memproduksi minyak pada sumur BCN-28 dilakukan inovasi dengan mengaplikasikan *hydraulic fracturing* pada reservoir karbonat. [5]

Hydraulic fracturing yang dilaksanakan harus dievaluasi untuk meninjau keberhasilannya stimulasi tersebut. Evaluasi di lapangan hanya membandingkan produksi aktual sebelum dan sesudah *hydraulic fracturing*, yang belum dapat dijadikan acuan ilmiah sebagai referensi yang dapat dipertanggungjawabkan. Dalam tugas akhir ini, akan dilakukan pengembangan evaluasi kuantitatif. Parameter rekahan yang akan diperoleh dari evaluasi kuantitatif, digunakan untuk memperkirakan nilai perbandingan indeks produktivitas, permeabilitas formasi serta kurva IPR, dan selanjutnya dibandingkan dengan data produksi aktual untuk meninjau keberhasilan aplikasi *hydraulic fracturing*.

Perumusan masalah dalam penelitian tentang evaluasi hasil aplikasi stimulasi *hydraulic fracturing* adalah sebagai berikut:

1. Apakah pelaksanaan stimulasi *hydraulic fracturing* pada reservoir karbonat sumur BCN-28 PT Pertamina EP Asset 2 pendopo *field* berhasil ?
2. Berapa nilai *productivity index* pada sumur setelah dilakukan stimulasi *hydraulic fracturing* ?
3. Berapa nilai permeabilitas formasi setelah dilakukan *hydraulic fracturing*?
4. Apakah terjadi peningkatan produksi pada sumur BCN-28 setelah dilakukan *hydraulic fracturing*?

Sedangkan tujuan penelitian evaluasi hasil aplikasi stimulasi *hydraulic fracturing* terhadap Sumur BCN-28 adalah sebagai berikut:

1. Mengevaluasi keberhasilan *hydraulic fracturing* pada sumur BCN-28 PT Pertamina EP Asset 2 pendopo *field*.
2. Mengevaluasi indeks produktivitas yang dihasilkan dari geometri rekahan yang terbentuk.

3. Mengetahui pengaruh proses *hydraulic fracturing* terhadap permeabilitas formasi pada sumur dengan permeabilitas rendah.
4. Mengetahui produksi minyak per hari pada sumur BCN-28 PT Pertamina EP pendopo *field* setelah stimulasi.

2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah studi literatur yang berhubungan dengan evaluasi keberhasilan aplikasi *hydraulic fracturing* serta melakukan pengumpulan data reservoir, data produksi, data geologi dan data kompleksi sumur BCN-28 yang kemudian dilakukan pengolahan data. Pada proses *hydraulic fracturing* yang berlangsung data dianalisa dengan anggapan bahwa model rekahan yang dapat terbentuk adalah model 2D, yaitu model PKN (*Perkins, Kern & Nordgren*), KGD (*Kristanovich, Gertsma, & De Klerk*), atau penny (radial). Hasil yang telah didapatkan menunjukkan bahwa panjang rekahan yang terbentuk lebih besar daripada tinggi rekahannya sehingga model rekahan yang terbentuk adalah model PKN. Analisa model PKN tersebut menghasilkan geometri rekahan (x_f , h_f , dan w_f). Selanjutnya digunakan untuk memperkirakan perbandingan indeks produktivitas (J/J_0) dengan metoda CSD (*Cinco-Ley, Samaniego dan Dominique*) dan persamaan vogel.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pemilihan Stimulasi *Hydraulic fracturing*

Hydraulic fracturing yang telah dilakukan pada sumur BCN-28 lapisan *BRF (limestone)* bertujuan untuk mengembalikan kemampuan sumur BCN-28 untuk berproduksi. Ada beberapa alasan untuk dipilihnya stimulasi *Hydraulic fracturing* pada sumur BCN-28, yaitu :

1. Meningkatkan produksi minyak sumur BCN-28, sumur ini telah mengalami penurunan produksinya hingga sumur ditutup sementara waktu.
2. Nilai dari permeabilitas (k) yang sangat kecil sumur BCN-28 ini memiliki permeabilitas rata-rata 5 md.
3. Sisa cadangan minyak di lapisan *BRF Struktur APP* yang masih dapat diambil atau *Initial Oil in Place (OIIP)* adalah 201 MSTB.
4. Tekanan reservoir (P_r) sumur yang cukup tinggi. Sumur dengan nilai P_r yang masih tinggi adalah merupakan kandidat sumur yang baik untuk dilakukan *hydraulic fracturing*, sumur BCN-28 mempunyai Tekanan Reservoir 1721 psi.
5. Laju produksi yang relatif kecil. Sumur yang mempunyai tekanan reservoir cukup tinggi sedangkan laju produksi yang masih kecil merupakan salah satu hal yang akan dipertimbangkan untuk dilakukan *hydraulic fracturing*.

3.2. Perencanaan Stimulasi *Hydraulic fracturing*

3.2.1. Fluida Perekah

Fracturing fluids adalah fluida atau cairan yang digunakan pada stimulasi *hydraulic fracturing*, fungsi utama dari fluida perekah yang membuat dan memperpanjang rekahannya, membawa *proppant* melalui pencampuran dan peralatan pompa ke lokasi dimana tempat *proppant* tersebut diinginkan berada dalam rekahan yang terbentuk. Kegagalan dalam melakukan salah satu dari fungsi-fungsi ini dapat membahayakan manfaat perlakuan stimulasi. Metode pemilihan fluida harus di evaluasi untuk mengkonfirmasi bahwa fluida ini memenuhi persyaratan secara rinci untuk menghantarkan daya pompa ke batuan formasi [6].

Fluida perekah yang digunakan pada stimulasi *hydraulic fracturing* pada sumur BCN-28 adalah *Spectra Frac 4000*, yang merupakan fluida berbahan dasar air. Lapisan *BRF* merupakan formasi yang terdiri dari *Limestone* sehingga fluida perekah yang digunakan itu *kompatibel* dengan batuan reservoir, fluida ini juga masih mampu stabil hingga temperatur 350°F. *Additive* yang ditambahkan pada fluida perekah ini antara lain, *GW-27* sebagai *gelling agent*, *XLW-56* sebagai *crosslinker* (fluida perekah masih perlu ditambahkan *crosslinker* untuk meningkatkan nilai viskositasnya sehingga mampu membawa *proppant* pada lokasi yang diinginkan di dalam rekahan dan menghindari terjadinya *settling proppant* pada saat pemompaan), *breaker* berjenis *GBW-5* berfungsi memecahkan rantai *polymer* sehingga viskositas fluida perekah menjadi encer (viskositasnya turun), *surfactant* berjenis (berfungsi memperkecil tegangan permukaan, serta mempermudah terbentuknya rekahan dan juga untuk mencegah terjadinya emulsi), *buffers* berjenis *BF-7L* berfungsi menstabilkan kadar pH dari fluida perekahnya dan berfungsi sebagai *bactericides* untuk mengurangi laju pertumbuhan reaksi bakteri serta *Clatrol* dan *KCl* sebagai *clay stabilizer* untuk menghindari menyebarnya *clay* pada saat berubahnya tekanan dan temperatur dalam aliran *fracturing fluid* [7].

3.2.2. Proppant

Pasir merupakan bahan pertama kali yang digunakan sebagai *proppant* pada akhir tahun 1940, beberapa bahan telah digunakan akan tetapi semua belum berhasil, termasuk pelet aluminium, logam tembak, manik-manik kaca, kerang kenari, manik-manik plastik, dan polimer bola. Sampai sekarang yang lebih umum digunakan untuk menyangga diantaranya pasir, pasir dilapisi resin pasir, *proppant* (ISP) keramik, *proppant* berkekuatan tinggi (bauksit sinter, zirkonium oksida, dll). Karena biayanya yang relatif rendah, pasir adalah yang paling umum digunakan menjadi *proppant*, terutama dalam sumur dengan *pressure closure* yang rendah [8].

Proppant yang telah digunakan dalam pelaksanaan *hydraulic fracturing* pada sumur BCN-28 adalah jenis *Carbo ceramics* yaitu *Carbolite 20/40*. Penggunaan *proppant* tersebut dipilih dikarenakan dari data kompleks, diketahui bahwa diameter perforasi pada sumur ini adalah 0,4 inch sedangkan *proppant carbolite 20/40* memiliki diameter sebesar 0,0287 inch, sehingga dipilih ini untuk menghindari terjadinya adanya pengendapan pada muka lubang perforasi (*bridging*).

3.3. Evaluasi Hasil Stimulasi *Hydraulic Fracturing*

3.3.1. Evaluasi Geometri Rekah

Geometri rekah Model PKN adalah model pertama dari model geometri rekah dua dimensi yang umum dipakai dalam menganalisa setelah tahun 1960-1970. Menggunakan metode ini apabila panjang dalam rekahan lebih besar dari tinggi rekahan ($x_f > h_f$) yang terbentuk. Sedangkan model KGD merupakan hasil rotasi 90° dari model geometri rekah PKN. Model KGD memiliki lebar yang sama (seperti segi empat) pada sepanjang rekahannya dan sedikit berbentuk setengah elips pada ujungnya. Model KGD mempunyai panjang rekahan yang sedikit relatif lebih pendek, lebih lebar dan konduktivitas yang memang lebih besar dari model PKN [9].

Mengevaluasi geometri rekahan harus membandingkan parameter-parameter seperti geometri rekahan yang terjadi (panjang, tinggi, lebar rekahan serta konduktivitas rekahan). Pada pengamatan terhadap hasil desain oleh Baker dan hasil aktual yang merupakan hasil perhitungan *software* MFrac 3D, maka akan diperoleh perbandingan antara hasil desain dengan hasil aktual (Tabel 1.)

3.3.2. Analisa Permeabilitas Formasi

Dilakukannya stimulasi *hydraulic fracturing* di suatu formasi batuan akan bisa meningkatkan nilai permeabilitas batuan tersebut yang kemudian diikuti dengan peningkatan laju alir fluida. Perhitungan nilai permeabilitas setelah rekahan (K_f) dan nilai distribusi permeabilitas rata-rata (K_{avg}) sebagai hasil melakukan aplikasi stimulasi *hydraulic fracturing* pada sumur BCN-28, menggunakan persamaan *Howard dan Fast*.

Menghitung permeabilitas formasi (permeabilitas rekahan) dengan persamaan:

$$K_f = \frac{(K \times h) + WK_f}{h} \tag{1}$$

maka $K_f = \frac{(5 \times 24.61) + 960.65}{24.61} = 44mD$

Tabel 1. Geometri Rekahan Hasil MFrac

Parameter	Data Sumur			Satuan
	Desain	Redesain	Aktual	
Panjang Rekahan Satu Sayap (Xf)	28.47	34.067	24.389	meter
Tinggi Rekahan Total (Hf)	53.29	49.559	42.4	meter
Lebar Rekahan Rata-Rata (Wf)	0.36352	0.25814	0.42997	inch
Konduktivitas Rekahan (WKf)	16625	1731.4	950.65	mD-ft
Fracture Conductivity Dimensionless	38.834	1.5523	1.2304	-
Net Pressure (Pnet)	1964.5	1172.3	2778.6	Psi

Diasumsikan bahwa akan terjadi pembentukan rekahan menyebabkan permeabilitas daerah sekitar sumur berbeda dengan permeabilitas lokasi yang lebih jauh dari lubang sumur. Sehingga permeabilitas rekahan rata-rata (K_{avg}) akan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$K_{avg} = \frac{\log\left(\frac{re}{rw}\right)}{\left[\frac{1}{k_f} \times \left(\log \frac{X_f}{rw}\right)\right] + \left[\frac{1}{k} \times \left(\log \frac{re}{X_f}\right)\right]} \quad (2)$$

Maka :

$$K_{avg} = \frac{\log\left(\frac{820,20}{0.35}\right)}{\left[\frac{1}{44} \times \left(\log \frac{80.02}{0.35}\right)\right] + \left[\frac{1}{5} \times \left(\log \frac{820,20}{80.02}\right)\right]} = 13.178mD$$

3.3.3. Analisa Productivity Index (PI)

Indeks produktivitas didefinisikan sebagai suatu perbandingan laju produksi yang telah dihasilkan oleh sebuah sumur dengan nilai tekanan alir dasar sumur pada perbedaan tekanan dasar sumur di keadaan statis [9].

Productivity index umumnya menyatakan kemampuan suatu sumur untuk berproduksi. Umumnya nilai perbandingan indeks produktivitas akan mengalami peningkatan setelah stimulasi *hydraulic fracturing* dilakukan. Bagian ini akan menguraikan perhitungan perbandingan indeks produktivitas setelah dilakukan stimulasi *hydraulic fracturing*.

Perhitungan peningkatan Indeks Produktivitas dengan menggunakan Metode Cinco-Ley, Samaniego dan Dominique dinilai lebih mendekati kondisi sumur BCN-28. Metode ini umumnya dipakai untuk mengevaluasi berapa nilai kenaikan kelipatan produktivitas (K2P) pada sumur BCN-28 yang telah dilakukan *hydraulic fracturing* [9].

Perhitungan Fcd sumur BCN-28

$$Fcd = \frac{WK_f}{K \times X_f} \quad (3)$$

maka :

$$Fcd = \frac{950.65}{5 \times 80.02} = 2.376$$

Mencari jari-jari sumur efektif (rw') menggunakan Grafik Cinco-Ley, Samniego, dan Dominuque.

$$rw' = 0.34 \times 80.02 = 27.20 \text{ ft}$$

Peningkatan produktivitas setelah *fracturing* adalah :

$$K2P = \frac{\ln\left(\frac{re}{rw}\right)}{\ln\left(\frac{re}{rw'}\right)} \quad (4)$$

Maka :

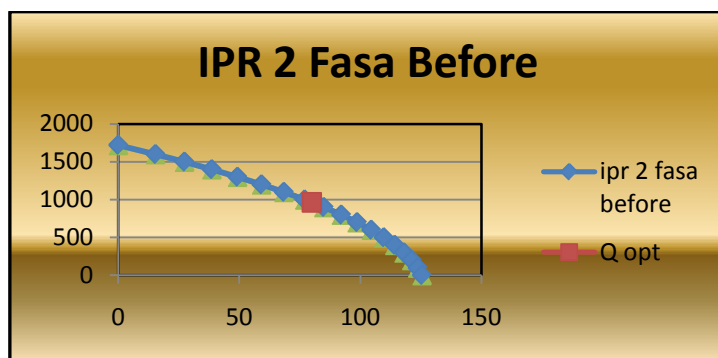
$$K2P = \frac{\ln\left(\frac{820.20}{0.35}\right)}{\ln\left(\frac{820.20}{27.20}\right)} = 2.28$$

3.3.4. Analisa Kurva IPR (*Inflow Performance Relationship*)

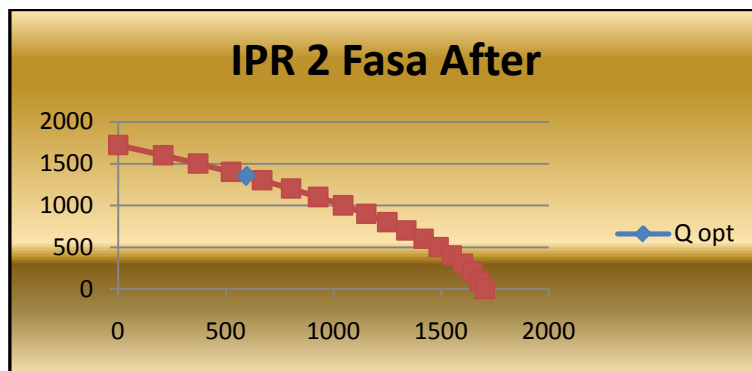
Semua kemampuan sumur berhubungan dengan tingkat produksi sumur dan kekuatan pendorong di reservoir yang akan terdapat perbedaan dengan tekanan awal sumur tersebut, tekanan reservoir rata-rata dan tekanan alir dasar sumur. *Inflow performance relationship* (IPR) merupakan fungsi dari tekanan dasar sumur, yang menggambarkan kualitas dari kemampuan suatu lapisan produktif untuk diproduksi. Dari data produksi, maka kurva IPR sebelum dan setelah pekerjaan *hydraulic fracturing* dapat dibuat, yang digambarkan dalam bentuk kurva IPR (Gambar 1 dan 2) [10].

3.3.5. Analisis Laju Aktual

Menganalisa berdasarkan laju produksi aktual sumur yang telah dilakukan stimulasi *Hydraulic fracturing* dilakukan dengan melihat data produksi sebelum dan setelah stimulasi dengan tujuan untuk mengetahui peningkatan produktivitas formasi, terutama peningkatan perolehan minyak. Dengan mengacu pada data produksi aktual sumur BCN-28 sebelum dan sesudah stimulasi *hydraulic fracturing* berikut adalah evaluasi stimulasi *hydraulic fracturing* berdasarkan peningkatan laju produksi minyak aktual (Tabel 2.).



Gambar 1. Kurva IPR Sebelum Stimulasi *Hydraulic Fracturing*



Gambar 2. Kurva IPR Setelah Stimulasi *Hydraulic Fracturing*

Tabel 2. Laju Produksi Sumur BCN-28 Sebelum Dan Sesudah *Hydraulic Fracturing*

Data Produksi	Sebelum Frac	Sesudah Frac	Satuan
Laju alir fluida(QL)	80	597	BFPD
Laju alir air	72	480	BWPD
Laju alir minyak(Qo)	8	117	BOPD
Water cut	90	80	%

4. KESIMPULAN

Dari penulisan Tugas Akhir ini mengenai Evaluasi Hasil *Hydraulic Fracturing* pada sumur BCN-28 Struktur APP Field Pendopo dapat ditarik beberapa kesimpulan dan saran sebagai berikut:

1. Pelaksanaan Stimulasi *hydraulic fracturing* pada sumur BCN-28 berhasil.
2. Berdasarkan Metode *Cinco-ley Samaniego dan Dominique*, peningkatan *Productivity index* pada sumur BCN-28 sebesar 2.28. Serta nilai *skin* sebesar -4.35. Sedangkan berdasarkan persamaan *vogel*, nilai *productivity index* setelah stimulasi sekitar 1.6.
3. Berdasarkan persamaan *Howard and past* perkiraan nilai peningkatan permeabilitas formasi rata-rata bernilai 13.178 md.
4. Setelah dilakukan stimulasi terjadi peningkatan laju produksi oil yang semula 8 Bopd menjadi 117 bopd.

DAFTAR PUSTAKA

1. Yew, C. H. (1978). *Mechanics of Hydraulic Fracturing*. Texas : Gulf Publishing Company.
2. Williams, B. B., Gidley, J. L., Schechter, R. S. (1979). *Acidizing Fundamentals*. New York : AIME.
3. Anonim. (2003). *Perencanaan Hydraulic Fracturing*. Jakarta : Pertamina Handbook Perencanaan Stimulasi (Pdf).
4. Schechter, R. S. (1992). *Oil Well Stimulation*. Englewood Cliffs New Jersey : Prentice Hall.
5. Petroleum Engineer Field Pendopo. (2012). *Data Produksi, Data Reservoir, Data Kompleksi Sumur BCN-28*. Laporan Kerja Fungsi Petroleum Engineer. Prabumulih: PT Pertamina EP Asset 2 Field Pendopo.
6. Economides, M. J., Martin, T. (2007). *Modern Fracturing, Enhancing Natural Gas Production*. Houston : ET Publishing.
7. James, S. S. (2012). *Post Job Report SPA -028 Spectra Frac 4000 with 20/40 carbolite*. Pendopo : BJ Service.
8. Economides, M. J., Hill, A. D., Ehlig, C. (1994). *Petroleum Production System*. New Jersey : Prentice Hall.
9. Economides, M. J., Nolte, K. G. (1989). *Reservoir Stimulation*. New Jersey : Prentice Hall.
10. Golan, M., Whitson, C. H. (1991). *Well Performance*. Norway : Prentice Hall.