
Perhitungan Analisis Sistem Nodal Untuk Menentukan Laju Alir Minyak Dengan Meningkatkan Range Efisiensi *Electric Submersible Pump* Pada Sumur di Lapangan Minyak PT. BOB. BSP - Pertamina Hulu

Ali Musnal¹, Richa Melisa¹

¹Program Studi Teknik Perminyakan Universitas Islam Riau

Abstrak

Dengan berjalannya waktu produksi, tekanan reservoir akan mengalami penurunan. Untuk mengatasi hal tersebut diatas dipergunakan pengangkatan buatan yang dikenal dengan “Artificial Lift”. Pada sumur di BOB PT.BSP- Pertamina Hulu Zamrud pada umumnya mempergunakan pompa electric submersible pump (ESP) sebagai pengangkatan buatan. Pompa ESP ini pada periode tertentu juga mengalami penurunan kemampuan untuk mengangkat fluida. Hal ini disebabkan karena berkurangnya kemampuan dari tekanan reservoir, terjadinya *over load* atau *under load* pada pompa, karena jumlah *stages* yang dipasang tidak tepat, dan disamping itu terjadinya kerusakan pada peralatan produksi itu sendiri.

Penelitian ini menghitung Range efisiensi pompa terpasang, mengevaluasi kemampuan pompa ditandai besarnya laju produksi, menghitung jumlah stages dan Horse power pompa yang terpasang. Perhitungan mempergunakan metoda Analisa System Nodal, dimana titik nodalnya terletak didasar sumur. Berdasarkan hasil perhitungan range efisiensi pompa dari 4 sumur kajian, terdapat 2 pompa yang bekerja sesuai range efisiensinya dan pompa pada 2 sumur lainnya yaitu sumur F-02 dan F-04 mempunyai laju produksi 2500 stb/d dan 1450 stb/d. Pompa ini bekerja di bawah range efisiensi kalau kondisi ini diabaikan terus akan terjadi kerusakan pada pompa karena “downthrust” pada sumur F-02 dan F-04 agar meningkatkan laju produksi dan menghindari pompa bekerja pada kondisi downtrush maka dari hasil analisa sebaiknya ditambahkan panjang stage dari 44 stage menjadi 75 stage pada sumur F-02 dan 120 stage menjadi 150 stage pada sumur F-04.

Kata Kunci: Range Efisiensi, Laju Produksi, PI, Stage dan Horse Power.

Corresponding author e-mail: alimusnal@eng.uir.ac.id

PENDAHULUAN

Untuk memenuhi Kebutuhan bahan bakar minyak (BBM) di Indonesia, upaya yang dilakukan mencari sumur baru. Mengoptimasikan ladang sumur minyak yang ada dan dapat juga dilakukan menggunakan energi terbarukan seperti biofuel, matahari, angin, dan lain sebagainya. Laju produksi minyak di setiap sumur lapangan Minyak dengan berjalannya waktu produksi akan menurun. Hal ini disebabkan karena turunnya tekanan reservoir seperti yang dikemukakan sebelumnya dan beberapa sumur sudah mempunyai water cut yang tinggi, sehingga gradien di dalam tubing menjadi lebih besar/berat. Pengangkatan buatan (*artificial lift*) dilakukan untuk membantu memproduksi minyak di lapangan. Pemilihan metode *artificial lift* yang tepat sangat diperlukan untuk memperoleh produksi minyak yang optimum. Pada lapangan minyak BOB PT. BSP - Pertamina Hulu sudah memakai pompa *Electric Submersible Pump* (ESP) untuk pengangkatan buatan.

Untuk pengoperasiannya, pompa ESP di lapangan minyak, seringkali ditemukan permasalahan ketidaksesuaian laju produksi yang diinginkan (secara teoritis) dengan laju produksi yang sebenarnya (efisiensi pompa rendah), sehingga diperlukan suatu evaluasi terhadap kinerja pompa tersebut untuk mendapatkan kinerja pompa yang maksimal efisiensinya. Dari sekian banyak areal lapangan minyak BOB PT. BSP - Pertamina Hulu, peneliti hanya mengambil data dari areal Beruk North yang mempunyai 10 sumur dan keseluruhan sumur mempergunakan pompa ESP sebagai pengangkatan buatan. Peneliti melakukan 4 sumur kajian, karena dari 4 sumur ini mempunyai data yang cukup sebagai bahan penelitian.

TUJUAN PENELITIAN

Tujuan dari penelitian ini, yaitu :

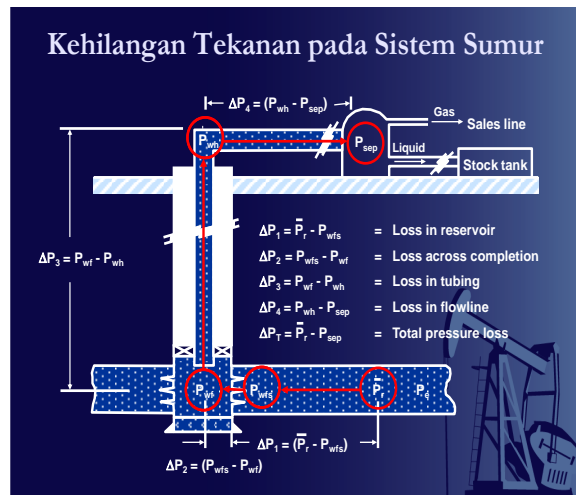
1. Menghitung produktivitas indeks (PI) setiap sumur kajian.
2. Menghitung besarnya range efisiensi pompa terpasang
3. Menghitung besarnya laju produksi untuk setiap sumur kajian.
4. Menghitung jumlah *stages* pompa dan *Horse Power* yang dibutuhkan pompa.

METODE PENELITIAN

Metode dalam penelitian ini dilakukan dengan merujuk ke referensi yang berhubungan dengan permasalahan. Kemudian diaplikasikan pada lapangan sumur minyak dengan melakukan terjun langsung ke lapangan untuk mengumpulkan data-data lapangan, setelah itu memproses data dan mengevaluasi untuk mendapatkan gambaran efisiensi pompa terpasang. Sudah banyak dilakukan penelitian mengenai pompa ESP seperti mengevaluasi ESP, optimasi laju produksi dengan pompa ESP, perencanaan ulang pompa terpasang dan lain sebagainya. Pada penelitian ini difokuskan menekan *range* efisiensi pompa ESP, di samping melihat kemampuan sumur untuk berproduksi.

TEORI DASAR

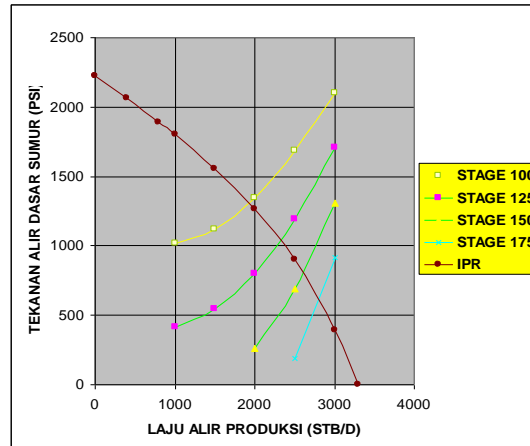
Nodal adalah suatu titik pertemuan antara dua performance aliran yang berbeda pada sumur produksi. Digambarkan dalam bentuk grafik tekanan dan laju alir produksi minyak.



Gambar 1 Titik Nodal Pada Sumur

Sistem Nodal Pada Electric Submersible Pump

Perhitungan analisa nodal untuk pompa electric submersible pump ini, titik nodalnya terletak di dasar sumur yaitu menghubungkan tekanan tubing intake stages pompa dengan kurva *inflow performance relationship*, seperti contoh gambar di bawah ini



Gambar 2 Kurva Tubing Intake Untuk ESP

Prinsip Kerja Pompa ESP

Prinsip dasar dari *Electrical Submersible Pump* adalah dengan mengalirkan fluida dari satu tingkat ke tingkat selanjutnya, dimana pompa ini terdiri dari bagian yang berputar (*impeller*) dan tempat fluidanya (*diffuser*). *Impeller* melakukan pengisapan fluida dari bawah untuk diteruskan ke *diffuser* dan fluida yang ada di *diffuser* kemudian akan dialirkan lagi ke bagian atas (*impeller*). Apabila tingkat (*stage*) digunakan lebih banyak, maka kepala motor/rumah *stage* akan lebih tinggi. Proses ini berulang beberapa kali dan tergantung pada jumlah tingkatnya. Tiap tingkat yang digunakan menentukan volume fluida yang akan dipindahkan.

Productivity Index (PI)

Productivity Index (PI) adalah suatu indeks yang menyatakan kemampuan sumur untuk mengangkat fluida ke permukaan pada kondisi tekanan tertentu. Dapat juga dikatakan sebagai perbandingan laju produksi yang dihasilkan oleh suatu sumur dengan perbedaan tekanan Draw down Pressure secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut:

$$PI = J = \frac{q}{(P_s - P_{wf})} \quad (1)$$

dimana:

PI = J = *Productivity Index*, bbl/day/psi

Q = Laju Produksi Aliran Total, bbl/day

P_s = Tekanan Statis Reservoir, Psi

P_{wf} = Tekanan Dasar Sumur saat terdapat Aliran, Psi

Inflow Performance Relationship (IPR) Curve

Inflow Performance Relationship (IPR) Curve yaitu suatu kurva yang menggambarkan perilaku aliran fluida dari reservoir ke dasar sumur. Kurva tersebut dibuat harga tekanan alir dasar sumur (P_{wf}) versus laju alir (Q) yang dihasilkan.

Persamaan metode Vogel adalah sebagai berikut:

$$\frac{q}{q_{max}} = 1 - 0,2 \left(\frac{P_{wf}}{P_s} \right) - 0,8 \left(\frac{P_{wf}}{P_s} \right)^2 \quad (2)$$

atau

$$P_{wf} = 0,125 P_s \left[\sqrt{81 - 80 \left(\frac{q}{q_{max}} \right)} - 1 \right] \quad (3)$$

Harga ρ_{fsc} dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\rho_{fsc} = 350 WC \gamma_w + 350 (1 - WC) \gamma_o + GIP (GLR) \rho_{gsc} \quad (4.4)$$

dimana ρ_{gsc} adalah densitas gas pada kondisi standar.

Perhitungan Jumlah Tingkat Pompa Elektrik

Jumlah Stage (St) dapat dihitung dengan persamaan berikut ini.

$$St = \left[\frac{808,3141}{\rho_{fsc} h} \right] (P_2 - P_3) \quad (4)$$

atau

$$P_3 = P_2 - \left[\frac{\rho_{fsc} h}{808,3141} \right] St \quad (5)$$

Sedangkan Horse Powernya dapat dihitung dengan persamaan

$$HP = \left[\frac{1}{0,433} \right] \frac{hP}{h} (P_2 - P_3) \quad (6)$$

Jika persamaan diatas disubtitusikan akan menghasilkan persamaan berikut

$$HP = hp \cdot \gamma_{fsc} \cdot St \quad (7)$$

DATA SUMUR DAN ANALISA PERHITUNGAN

Tabel 1 Data Sumur F-01 Dan Data Pompa

Pr, Psi	1800	Dalam sumur , ft	3510
Laju Produksi , Bfpd	4580	Casing size , in	9-5/8
Q Maks , Stbl/d	5.708	Tubing size , in	3-1/2
Flowing temp, F	300	PWH , Psi	1000
Γ_g	0,65	Wellhead Temp F	268
Γ_w	1,065	API	35
Water Cut	92.0%	Γ_o	0,812
Pb , Psi	1700	GOR , Scf / Stbo	600
H P Pompa	160 HP	Stage	68 Stg
Type Pompa	GN-5600	Amp	8.5 A

Perhitungan Produktifitas Indeks dan Kurva IPR

Perhitungan Produktifitas Index :

$$P_{wf} = 0,125 \cdot Pr \cdot \left[-1 + \sqrt{81 - 80 \cdot (Q_{ac} / Q_{Maks})} \right]$$

$$P_{wf} = 0,125 \cdot 1800 \cdot \left[-1 + \sqrt{81 - 80 \cdot (4580 / 5708)} \right]$$

$$\begin{aligned}
 P_{wf} &= 697,48 \text{ Psi} \\
 P_i &= Q / (Pr - P_{wf}) \\
 &= 4580 / (1800 - 697,48) \\
 &= 4.15 \text{ stb/d/psi}
 \end{aligned}$$

Perhitungan kurva IPR:

$$P_{wf} = 0,125 \cdot Pr \cdot \left[-1 + \sqrt{81 - 80 \cdot (Q_{ass} / Q_{Maks})} \right]$$

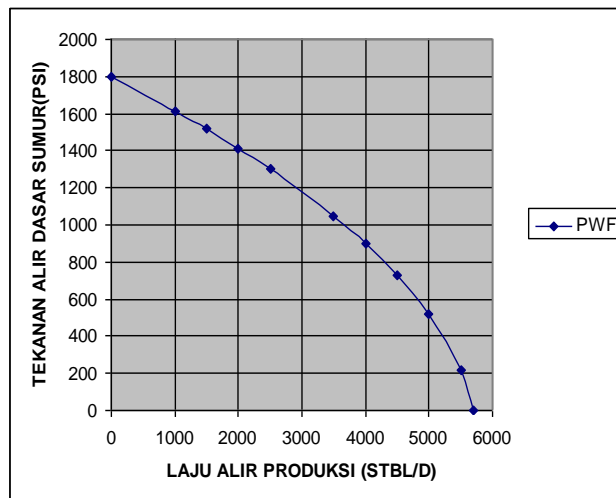
Untuk Laju Alir (Q) = 800 stb/d;

$$P_{wf} = 0,125 \cdot Pr \cdot \left[-1 + \sqrt{81 - 80 \cdot (800 / 5708)} \right] = 1655 \text{ Psi}$$

Tabel 2 Hasil Perhitungan Pwf

Q (Stb/d) Asumsi	PWF(Psi)	Q (Stb/d) Asumsi	PWF(Psi)
0	1800	3500	1047
800	1655	4000	899
1500	1517	4500	727
2000	1412	5000	520
2500	1300	5500	220

Tabel di atas di plot Q versus Pwf , hasilnya grafik di bawah ini.



Gambar 3 Kurva Inflow Performance Relationship

Perhitungan Tekanan Intake Pompa

$$\begin{aligned}
 p_{fsc} &= 350 \cdot WC \cdot \gamma_{wsc} + 350 \cdot (1 - WC) \cdot \gamma_{osc} \\
 &= 350 \cdot (0,92) \cdot (1,065) + 350 \cdot (1 - 0,92) \cdot (0,812) \\
 &= 365.6 \text{ lb/stb}
 \end{aligned}$$

$$P_3 = P_2 - \left[\frac{\rho_{fsc} h}{808,314} \right] St$$

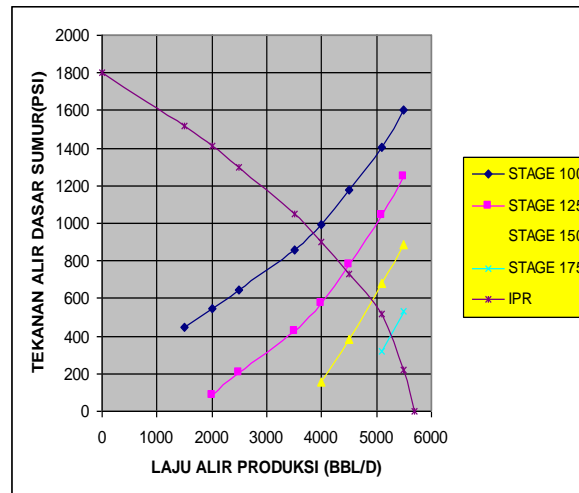
$$P_3 = 2410 - \left[\frac{365.6 \times 39}{808.314} \right] 100$$

$$P_3 = 646 \text{ Psi}$$

Tabel 3 Hasil Perhitungan Untuk Q dan P3 Berbagai Stage

Q	P2	h	P3 @			
			St =100	St =125	St=150	St=175
1500	2390	43	445	-40	-527	-1013
2000	2400	41	546	82	-381	-844
2500	2410	39	646	205	-235	-676
3500	2577	38	859	429	0,54	-430
4000	2669	37	996	577	159	-259
4500	2760	35	1177	782	386	-10
5000	2853	32	1406	1044	682	321
5500	3027	31,5	1602	1246	890	534

Setelah diplot antara Q dan P3 untuk berbagai Stage, maka didapat Gambar 4



Gambar 4 Kurva Tubing Intake Untuk ESP

Perhitungan Range Efisiensi

Menentukan HP :

$$(\eta_{sc})V = \frac{Q_{sc} \cdot \rho_{sc}}{350 \cdot V}$$

$$V = Q_{sc}$$

$$(\gamma_{sc}) = \frac{\rho_{sc}}{350}$$

$$(\gamma_{sc}) = \frac{365.6}{350}$$

$$(\gamma_{sc}) = 1.044$$

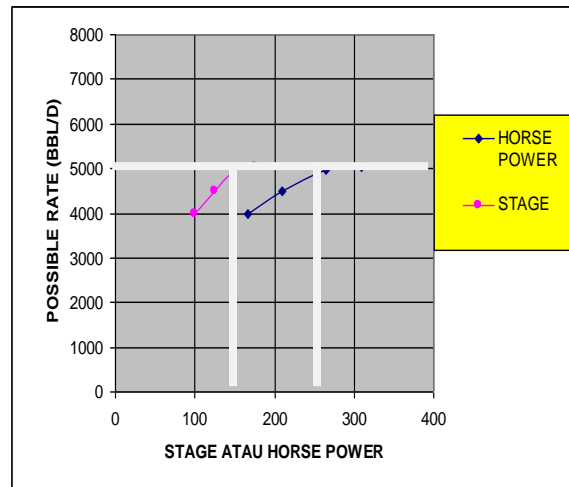
$$HP = (\gamma_{sc}) \times (hp) \times (st)$$

$$HP = 1.044 \times (hp) \times (st)$$

Tabel 4 Perhitungan Horse Power dengan Berbagai Jumlah Stage

St	Qp	HP	HP Total
100	3,975	1.59	166
125	4,500	1.61	210
150	4,975	1.69	265

Berdasarkan performance pompa type Gn 5,600 mempunyai kapasitas Range efisiensi 4,000 sampai dengan 7,250 stb/d, maka pilihan terbaik kapasitas untuk pompa ini sebesar 5,000 stb/d.



Gambar 5 Laju Alir Yang Mungkin Terhadap Stage dan Horse Power

Jadi dari pembacaan gambar 5 untuk QP = 5,000 STBL/D, maka didapat :

JUMLAH STAGE = 160 Stage
 TOTAL HP = 280 Horse Power

Berdasarkan performance pompa type SN 2,600 mempunyai kapasitas range efisiensi 1,750 sampai dengan 3,250 stb/d, maka pilihan terbaik kapasitas untuk pompa ini sebesar 2,500 stb/d.

Untuk QP = **2,500 STBL/D** dengan Tekanan Discharge = **3,688 psi**, maka didapat :

JUMLAH STAGE = 150 Stage
TOTAL HP = 185 Horse Power

PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan pada 4 sumur kajian, maka pada tabel dibawah ini pada masing masing sumur kajian terlihat kondisi sumur real dilapangan dan hasil perhitungan dengan mempergunakan analisa sistim nodal, berikut ini akan dibahas untuk masing masing sumur:

Tabel 5 Kondisi Real dan Hasil Perhitungan

Sumur	Type Pompa	Kondisi Lapangan			Hasil Analisa Perhitungan				PI (stb/d/psi)
		Stage	HP	Laju Alir Q(stb/d)	Stage	HP	Laju Alir Q(stb/d)	Range Efisiensi	
f1	gn-5600	68	160	4580	160	280	5000	4000 – 7250	4,15
f2	sn-3600	44	120	2500	75	135	3250	3200 – 4500	5,7
f3	sn-8500	86	280	6283	175	450	6000	6000 – 11000	3,8
f4	sn-2600	75	120	1450	150	185	2600	1750 -3250	20,8

Untuk sumur F1 berdasarkan performance pompa type Gn 5600 mempunyai kapasitas Range efesiensi 4000 sampai dengan 7250 stb/d, maka pilihan terbaik kapasitas untuk pompa ini sebesar 5000 stb/d, karena selain menghasilkan tekanan drawdown yang reasonable juga pompa beroperasi disekitar puncak efesiensi. Berdasarkan data lapangan pompa ini bekerja berada pada range efesiensi yang baik.

Sumur F2 menggunakan tipe pompa SN 3600, Berdasarkan performance pompa type SN 3600 ini mempunyai kapasitas Range efesiensi 3200 sampai dengan 4500 stb/d, maka pilihan terbaik kapasitas untuk pompa ini sebesar 3250 stb/d, pompa ini bekerja dibawah range efesiensi. Laju Produksi di lapangan sebesar 2500 stb/d, hal ini kalau dibiarkan berjalan terus akan mengakibatkan pompa akan rusak, karena pompa bekerja pada kondisi *Downtrush*.

Sumur F3 mempergunakan pompa ESP type SN 8500, Berdasarkan performance pompa type SN 8500 mempunyai kapasitas Range efesiensi 6000 stb/d sampai dengan 11000 stb/d, maka pilihan terbaik kapasitas untuk pompa ini sebesar 6000 stb/d. sedangkan dilapangan besarnya laju produksi sebesar 6283 stb/d, jadi pompa ini bekerja pada kondisi range efesiensi.

Sumur F4 mempergunakan type pompa SN 2600, berdasarkan performance pompa type ini mempunyai kapasitas Range efesiensi 1750 sampai dengan 3250 stb/d, maka pilihan terbaik kapasitas untuk pompa ini sebesar 2500 stb/d, karena harga ini mendekati puncak range efesiensi. Data kondisi dilapangan menunjukkan besarnya laju produksi 1450 stb/d, berarti pompa bekerja dibawah range efesiensi, kalau kondisi ini dibiarkan terus menerus pompa akan cepat rusak karena *downtrush*. Bila dilihat kemampuan sumur masih memungkinkan untuk dilakukan peningkatan produksi.

Kondisi *real* dengan hasil perhitungan terdapat perbedaan *stage*, *horse power* pompa dan laju produksi. Pompa dalam kondisi baik untuk semua sumur kajian, pada sumur F-02 dan F-04 agar meningkatkan

laju produksi dan menghindari pompa bekerja pada kondisi *downthrust* maka dari hasil analisa sebaiknya ditambahkan panjang stage dari 44 stage menjadi 75 stage pada sumur F-02 dan 120 stage menjadi 150 stage pada sumur F-04.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan dengan menggunakan analisa sistem nodal di dasar sumur dan pembahasan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Untuk sumur F1 menggunakan pompa type Gn 5600, kapasitas range efisiensi 4000 sampai dengan 7250 stb/d, laju produksi 4580 stb/d, pompa ini bekerja pada range efisiensi yang baik beroperasi disekitar puncak efisiensi.
2. Sumur F2 menggunakan tipe pompa SN 3600 mempunyai kapasitas range efisiensi 3200 sampai dengan 4500 stb/d, Laju Produksi dilapangan sebesar 2500 stb/d, pompa ini bekerja dibawah range efisiensi, jika dibiarkan berjalan terus akan mengakibatkan pompa akan rusak, karena pompa bekerja pada kondisi "Downtrush".
3. Sumur F3 mempergunakan pompa ESP type SN 8500, mempunyai kapasitas range efisiensi 6000 stb/d sampai dengan 11000 stb/d, sedangkan dilapangan besarnya laju produksi sebesar 6283 stb/d, jadi pompa ini bekerja pada kondisi range efisiensi.
4. Sumur F4 mempergunakan type pompa SN 2600, mempunyai kapasitas range efisiensi 1750 sampai dengan 3250 stb/d, data kondisi di lapangan menunjukkan besarnya laju produksi 1450 stb/d, berarti pompa bekerja di bawah range efisiensi, jika kondisi ini dibiarkan terus menerus pompa akan cepat rusak karena *downthrust*.
5. Kondisi *real* dengan hasil perhitungan terdapat perbedaan *stage*, *horse power* pompa dan laju produksi. pompa dalam kondisi baik untuk semua sumur kajian, pada sumur F-02 dan F-04 agar meningkatkan laju produksi dan menghindari pompa bekerja pada kondisi *downtrush* maka dari hasil analisa sebaiknya ditambahkan panjang stage dari 44 stage menjadi 75 stage pada sumur F-02 dan 120 stage menjadi 150 stage pada sumur F-04.

SARAN

- Berdasarkan hasil penelitian ini dapat disaran kepada perusahaan tempat penelitian dilakukan bahwa ; sumur F2 dan F4 produksinya harus dinaikan didalam efisiensi range yang direkomendasikan pompa, untuk menghindari pompa tidak cepat rusak.
- Untuk Peneliti selanjutnya disarankan melakukan kajian analisa keekonomiannya, karena pada penelitiannya ini ada perubahan terhadap laju produksi, jumlah stages dan horse power pompa.

DAFTAR PUSTAKA

- Brown, K.E. (1977). *The Technology of Artificial Lift Methods*", volume 1. Tulsa: PennWell Publishing Co.
- Brown, K.E. (1980). *The Technology of Artificial Lift Methods*, volume 2B. Tulsa: PennWell Publishing Co.
- Brown, K.E. (1984). *The Technology of Artificial Lift Methods*, volume 4. Tulsa: PennWell Publishing Co.
- Suwardi, F. (2015). Evaluasi Pompa ESP Terpasang Untuk Optimasi Besarnya Laju Produksi Minyak. *Universitas Sriwijaya*.
- Putra, Andri. Evaluasi Dan Optimasi Pompa Electric Submercible Pump. *Tri Jurnal Lemlit Trisakti*.
- Widiyanto, G. 2010. *Optimasi Pompa Pada Dewatering Sumur CMB*.
- Daniel Hill. *Petroleum Production Systems*.

Pirson. (1992). *Oil Reservoir Engineering*.

Sukarno, Pudjo. (1990). *Production Optimalization with Nodal System Analysis*. Jakarta: PT. Indrilco Sakti.

Nind, T.E.W. (1959). *Principle of Oil Well Production* (2nd ed). New York: Mc-Graw Hill.