

INOVASI *IMPELLER* POMPA ESP UNTUK OPTIMASI PRODUKSI PADA SUMUR RFM-01 DI LAPANGAN XYZ

Muzkiati¹, Rezta Indayani¹, Fatih Raka Subiantoro¹, Edi Untoro¹

¹Teknik Produksi Migas, Politeknik Energi dan Mineral Akamigas Cepu, Jl. Gajah Mada no.38 Cepu, Blora, 58313

*E-mail: muzkiatimuzkiati45@gmail.com

ABSTRAK

Proses pengangkatan minyak dan gas di suatu lapangan tidak dapat terlepas dari penurunan pressure reservoir yang mengakibatkan penurunan laju produksi. Perancangan pompa untuk suatu sumur memerlukan data yang cukup untuk mengestimasi dan menentukan jenis pengangkatan buatan beserta spesifikasi yang diperlukan. Sumur RFM-01 merupakan sumur dangkal dengan TVD 5000 ft yang memiliki karakteristik reservoir batu pasir bertekanan rendah dengan cadangan yang besar. Sumur RFM-01 memiliki 6 zona produksi dengan *cased completion* yang telah mengalami 2 kali kompleks ulang dari tahun 2014 sampai sekarang. *Inflow performance relationship* (IPR) merupakan suatu metode yang digunakan untuk mencari tahu performa reservoir yang diproduksi dan laju alir yang optimal pada sumur tersebut. Design pompa yang dibuat untuk sumur dengan lapisan reservoir yang baru tidak sepenuhnya akurat dan tepat.

Kata kunci: *Impeller, Electrical Submersible Pump*, Pompa.

1. PENDAHULUAN

Dalam industri minyak dan gas, produksi minyak dari reservoir mengalami penurunan seiring waktu akibat dari berkurangnya tekanan reservoir dan cadangan minyak [1]. Proses produksi minyak yang bergantung pada tenaga dorong alami dari reservoir sering kali tidak mencukupi untuk mempertahankan laju produksi yang optimal, terutama pada sumur-sumur tua. Salah satu metode yang digunakan untuk mengatasi penurunan produksi ini adalah *Artificial Lift*, yaitu teknik pengangkatan buatan yang digunakan untuk meningkatkan produksi fluida dari sumur yang tidak lagi mampu memproduksi secara alami [2].

Electric Submersible Pump (ESP) merupakan pompa *submersible* yang digunakan untuk mengangkat fluida dari reservoir [3]. Pompa ini terdiri dari beberapa komponen seperti motor listrik, *impeller*, stator, dan rotor. Sama seperti peralatan pada umumnya, ESP juga memiliki *efficiency* atau tingkat efektif pompa beroperasi, tingkat efisiensi pompa akan sangat mempengaruhi *lifetime* atau umur pakai suatu pompa [4].

Sumur RFM-01 merupakan salah satu sumur tua di lapangan XYZ yang telah ada dari tahun 2014. Sumur RFM-01 memiliki 6 zona produksi dengan *cased completion* [5]. Sumur RFM01 menggunakan pengangkat buatan berjenis ESP dari design awal yang bertahan selama 2 tahun dan diganti menjadi sumur produksi gas. Namun pada kompleks ulang kedua, sumur RFM-01 diubah lagi menjadi sumur produksi minyak dan kembali menggunakan pengangkat buatan ESP [6].

Sumur RFM-01 merupakan sumur dengan TVD > 7000 ft yang memproduksi hidrokarbon berjenis *black oil* dengan GOR > 2000 scf/stb. Meskipun ESP telah digunakan sebelumnya pada sumur ini, hasil produksinya kurang memuaskan. Oleh karena itu, dilakukan inovasi pada desain *impeller* pompa ESP untuk meningkatkan efisiensi dan memperpanjang masa pakai pompa [7]. Selain itu, kinerja ESP disesuaikan dengan kondisi sumur RFM-01 yang memiliki water cut tinggi dan tingkat produktivitas yang signifikan. Inovasi pada *impeller* ini diharapkan mampu mengoptimalkan produksi sumur dan meningkatkan efisiensi operasional [8].

2. METODE

Penelitian ini merupakan bagian dari program *capstone design*, yaitu program penelitian yang bertujuan untuk mengembangkan solusi teknis dalam bidang teknik produksi migas. Dalam program ini, mahasiswa diberi kesempatan untuk merancang inovasi nyata yang dapat mengatasi permasalahan teknis pada lapangan migas, khususnya pada sumur yang mengalami penurunan produksi. Pada penelitian ini, inovasi difokuskan pada peningkatan kinerja *Electrical Submersible Pump* (ESP) melalui modifikasi *impeller*, yang ditujukan untuk memenuhi kebutuhan produksi optimal pada sumur RFM-01 dilapangan XYZ. Berikut adalah tahapan metode penelitian yang dilakukan untuk inovasi *impeller* ESP dalam program *capstone design* ini:

1. Studi literatur

Pada tahap awal, penelitian literatur dilakukan untuk mendapatkan pemahaman tentang prinsip kerja Artificial Lift dan bagaimana ia dapat digunakan dalam produksi minyak, khususnya metode ESP (*Electric Submersible Pump*). Referensi yang digunakan mencakup buku-buku teknis, jurnal ilmiah, dan studi kasus tentang penggunaan ESP pada lapangan minyak dengan karakteristik reservoir yang sebanding. Selain itu, literatur yang berkaitan dengan analisis kinerja reservoir yang menggunakan pendekatan *Inflow Performance Relationship* (IPR) dan *Productivity Index* (PI) ditinjau.

2. Pengumpulan Data Sumur

Data PVT (Pressure-Volume-Temperature), data sumur, dan hasil uji produksi sumur RFM-01 dikumpulkan. Data ini digunakan untuk menemukan PI dan IPR yang tepat, serta untuk mendesain ESP yang tepat.

3. Perhitungan *Productivity Index* (PI) dan *Inflow Performance Relationship* (IPR)

Perhitungan *Productivity Index* (PI) dan *Inflow Performance Relationship* (IPR). PI dihitung dengan persamaan dasar, sedangkan IPR dihitung dengan persamaan Vogel untuk mencapai laju produksi optimal (Q_{opt}).

4. Desain ESP

Desain impeller ESP dilakukan dengan menghitung *Total Dynamic Head* (TDH), jumlah tahap (stage) impeller, serta pemilihan motor yang sesuai dengan kondisi sumur. Impeller S6000N dipilih karena memiliki efisiensi tinggi untuk laju produksi yang diinginkan.

5. Validasi Simulasi dan Uji lapangan

Simulasi dilakukan untuk memvalidasi desain ESP, dan implementasi desain baru diuji di lapangan untuk menilai kinerja aktualnya.

3. PEMBAHASAN

A. Data

Tabel 1 berikut merupakan data-data sumur X yang meliputi data analisa PVT, data sumur, dan data *test* sumur yang akan digunakan untuk proses analisa kinerja sumur dan *design* pompa ESP yang cocok.

Tabel 1. Data Sumur RFM-01

Data Analisa PVT		
Bo	1.06	bbl/stb
μ_o	0.4	cp
Pb	2450	psi

Data Sumur		
Well Type	vertical	
Total Depth	7641	ftmd
Interval Produksi	1000	ftmd(18 ft)
Tubing	3.5	L-80
Liner	7.26	ppf
Data Test Sumur		
q	5185	bbl/day
WC	90%	fraksi
GOR	2204	scf/bbl
Oil SG	38.7	degAPI
Pr	2590	psi
Pwf	1013	Psi

B. Analisis Kinerja Sumur Berdasarkan PI dan IPR

Parameter pertama yang harus dilihat dalam rangkaian analisa kinerja sumur ESP adalah mengetahui Productivity Index (PI) dengan rumus sebagai berikut:

$$J = \frac{Q}{P_s - P_{wf}} = \frac{5185}{2590 - 1013} = 4.3 \frac{bbl}{d} / psi \tag{1}$$

Dari data di atas didapatkan PI sebesar 4.3 bbl/d/psi dan dikategorikan sumur RFM-01 cukup produktif dengan PI yang tinggi. Parameter selanjutnya adalah mengetahui *Inflow Performace Relationship* (IPR) dengan persamaan Vogel sebagai berikut:

$$\frac{Q_o}{Q_{omax}} = 1 - 0.2 \left(\frac{P_s}{P_{wf}} \right) - 0.8 \left(\frac{P_{wf}}{P_s} \right)^2 \tag{2}$$

$$Q_{omax} = \frac{5185}{1 - 0.2 \left(\frac{2590}{1013} \right) - 0.8 \left(\frac{2590}{1013} \right)^2} = 6473.09 \text{ bopd}$$

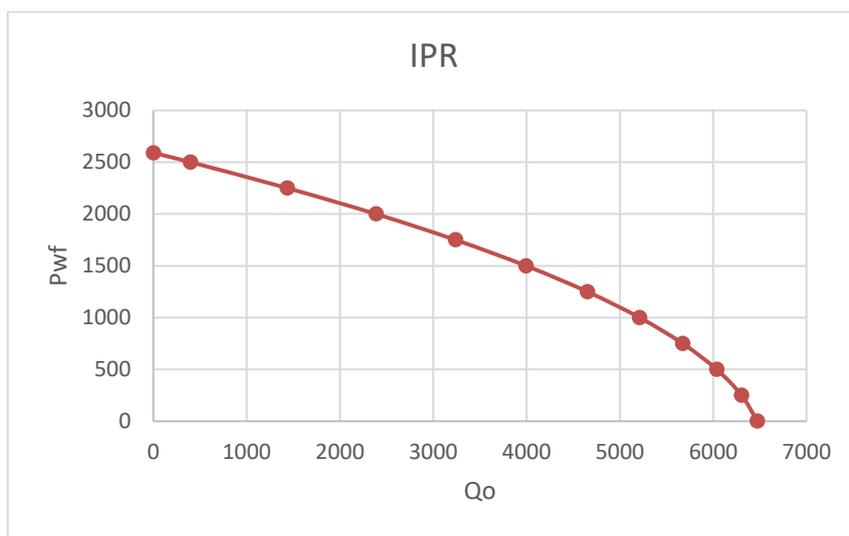
Tabel 2 berikut merupakan hasil perhitungan nilai Q menggunakan IPR Vogel setelah dimasukkan ke dalam bentuk tabel dengan penurunan Pwf. Sedangkan Gambar 1 merupakan plot IPR yang dihasilkan.

Tabel 2. Pwf vs Qo

Pwf	Qo
0	6473.09153
250	6304.41704
500	6037.96023
750	5673.7211
1000	5211.69966
1250	4651.8959
1500	3994.30982
1750	3238.94143
2000	2385.79073
2250	1434.8577

2500	398.627646
2590	0

Setelah itu, meninjau dengan kurva IPR sehingga dihasilkan Q_{opt} sebesar 80% dari Q_{omax} . Maka Q_{opt} untuk sumur RFM-01 adalah sebesar 5185 bopd. *Water cut* pada sumur ini menyentuh 90%. Sumur RFM-01 memiliki *water cut* sebesar 90% dan GOR yang tinggi, yang menunjukkan bahwa sebagian besar fluida yang diproduksi adalah air dengan kandungan gas yang signifikan. Analisis *Productivity Index* (PI) menunjukkan bahwa sumur memiliki PI sebesar 4,3 bbl/d/psi, yang tergolong produktif. Analisis *Inflow Performance Relationship* (IPR) menggunakan persamaan Vogel memberikan laju alir maksimum ($Q_o \max$) sebesar 6.473 bopd, dengan laju produksi optimal (Q_{opt}) sebesar 5.185 bopd [9]. Dalam hal ini, Q_{opt} yang dihasilkan sama berdasarkan Q yang menjadi validasi bahwa perhitungan sumur RFM-01 yang dilakukan sesuai dengan pompa ESP terpasang.



Gambar 1. Kurva IPR Sumur RFM-01

C. Perhitungan *Design ESP*

1. Menghitung berat jenis rata-rata dan gradien tekanan fluida produksi dengan menggunakan persamaan berikut :

$$SG = SG_o(1 - WC) + SG_w WC \tag{3}$$

$$SG = 38.7(1 - 0.9) + 1 \times 0.9 = 0.98$$

$$G_f = 0.433 \times SG$$

$$G_f = 0.433 \times 0.98 = 0.42 \text{ psi/ft}$$

Karena mengandung gas, gradien fluida dikurangi di atas sekitar 10% menjadi 0.38 psi/ft.

2. Berdasarkan kurva IPR sumur, Q_{opt} untuk sumur RFM-01 adalah sebesar 5185 bopd.
3. Menentukan *setting depth* pompa optimum dan hitung tekanan *pump intake pressure* dengan menggunakan persamaan berikut :

$$P_{pi} = P_{wf} - G_f(Z_p - Z) \tag{4}$$

$$P_{pi} = 1013 - 0.38(7469 - 7360) = 183.21 \text{ psi}$$

4. Hitung kedalaman *producing/working fluid level* (Z_{fl}) dengan menggunakan persamaan berikut:

$$Z_{fl} = Z_p - \frac{P_{wf}}{G_f} \tag{5}$$

$$Z_{fl} = 7360 - \frac{1013}{0.42} = 4694.21 \text{ ft}$$

5. Menentukan kehilangan tekanan sepanjang tubing dengan menggunakan persamaan berikut:

$$H_f = f \frac{L v^2}{d 2g} \text{ atau } H_f = 0.2083 \left(\frac{100}{C} \right)^{1.85} \quad (6)$$

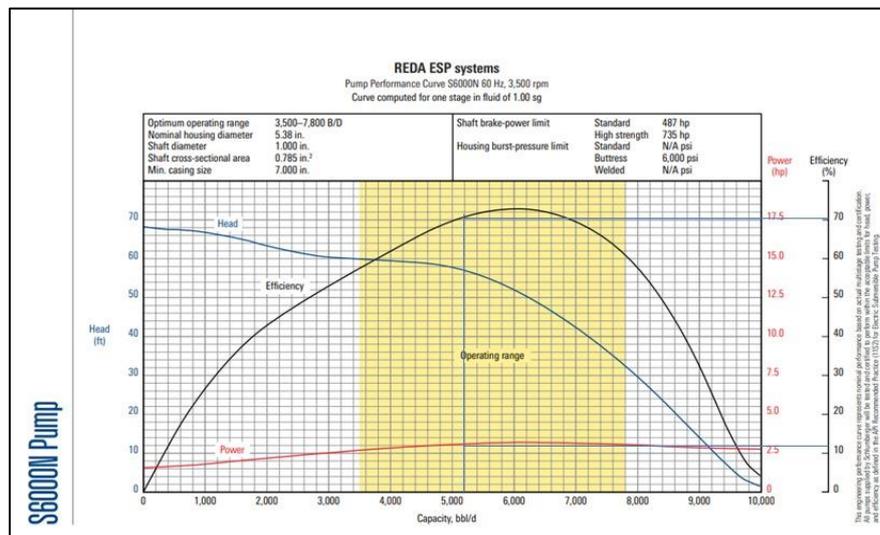
$$H_f = 0.2083 \left(\frac{120}{C} \right)^{1.85} \left(\frac{5185^{1.85}}{3.54.8655} \right) = 2496.46 \text{ psi}$$

6. Menghitung *total dynamic head* (TDH) dengan menggunakan persamaan berikut:

$$TDH = Z_{fl} + \frac{P_t}{G_f} + H_f \quad (7)$$

$$TDH = 4694.21 + \frac{250}{0.38} + 2496.46 = 7843.2 \text{ psi/ft}$$

7. Memilih jenis dan ukuran pompa dari katalog perusahaan pompa (misalkan Reda). Berdasarkan katalog, pompa S6000N dipilih karena *rate* produksi yang diinginkan masuk dalam kisaran aliran yang disarankan dan menghasilkan efisiensi teoritis tertinggi untuk laju produksi yang diinginkan.



Gambar 2. S6000N Pump

Pada Gambar 2, dapat diketahui bahwa *head capacity* (CH) sebesar 57 ft dan HP motor (HP_m) sebesar 3 hp.

8. Menghitung jumlah *stage* (S) dengan menggunakan persamaan berikut:
 $S = TDH / \text{Head Capacity} = 7843.2 / 57 = 137.6 \text{ stage}.$
9. Menghitung HP motor per *stage* yang dibutuhkan dengan persamaan berikut:
 $HHP = HP_m \times S \times SG = 3 \times 137.6 \times 0.98 = 405.8 \text{ hp}$
10. Memilih jenis motor dengan menggunakan Tabel H-1 yang memenuhi HHP.

Berdasarkan tabel 3, jenis motor yang memenuhi adalah motor REDA 50 hz 562 series motor dengan max 406 hp.

Tabel 3. 562 Series Motor REDA

562 Series Motor						
562 Series Maximus ESP System Motor						
Frequency 60 Hz			Frequency 50 Hz			
Power Rating, hp	Voltage, V	Power Rating, hp	Voltage, V	Current, A	Type	Length, ft (in)
1.884	1.570	1.570	157.0		S-GRB	30.2 (9.2)
2.375	1.979	1.240	124.0		S-GRB	30.2 (9.2)
2.865	2.387	1.04.0	104.0		S-GRB	30.2 (9.2)
3.847	3.206	77.3	77.3		S-GRB	30.2 (9.2)
1.884	1.570	157.0			UT	30.3 (9.2)
2.375	1.979	124.0			UT	30.3 (9.2)
1.884	1.570	157.0			UT-HSS	30.3 (9.2)
2.375	1.979	124.0			UT-HSS	30.3 (9.2)
1.884	1.570	157.0			LT-GRB	30.0 (9.1)
2.375	1.979	124.0			LT-GRB	30.0 (9.1)
1.884	1.570	157.0			CT	30.1 (9.2)
2.375	1.979	124.0			CT	30.1 (9.2)
1.884	1.570	157.0			CT-HSS	30.1 (9.2)
2.375	1.979	124.0			CT-HSS	30.1 (9.2)
2.028	1.690	157.0			S-GRB	32.3 (9.8)
2.557	2.131	124.0			S-GRB	32.3 (9.8)
3.086	2.572	104.0			S-GRB	32.3 (9.8)
3.615	3.013	88.1			S-GRB	32.3 (9.8)
4.144	3.454	77.3			S-GRB	32.3 (9.8)
2.028	1.690	157.0			UT	32.4 (9.9)
2.557	2.131	124.0			UT	32.4 (9.9)
2.028	1.690	157.0			UT-HSS	32.4 (9.9)
2.557	2.131	124.0			UT-HSS	32.4 (9.9)
2.028	1.690	157.0			LT-GRB	32.1 (9.8)
2.557	2.131	124.0			LT-GRB	32.1 (9.8)
2.028	1.690	157.0			CT	32.1 (9.8)
2.028	1.690	157.0			CT-HSS	32.1 (9.8)
2.173	1.811	157.0			S-GRB	34.4 (10.5)
2.740	2.284	124.0			S-GRB	34.4 (10.5)
3.306	2.755	104.0			S-GRB	34.4 (10.5)
3.873	3.228	88.1			S-GRB	34.4 (10.5)
2.173	1.811	157.0			UT	34.5 (10.5)
2.740	2.284	124.0			UT	34.5 (10.5)
2.173	1.811	157.0			UT-HSS	34.5 (10.5)
2.740	2.284	124.0			UT-HSS	34.5 (10.5)
2.173	1.811	157.0			LT-GRB	34.2 (10.4)

11. Untuk masing-masing jenis motor, dihitung kecepatan aliran fluida di annulus motor casing dengan menggunakan persamaan berikut:

$$v_f = \frac{0.0119 \times q_t}{ID_{csg}^2 - OD_m^2} \tag{8}$$

$$v_f = \frac{0.0119 \times 5185}{6.276^2 - 5.43^2} = 6.23 \text{ ft/sec}$$

Jenis motor dan diameter luar motor (OD_m) terkecil yang bisa masuk kedalam diameter dalam casing (ID_{csg}) dan dapat memberikan kecepatan fluida di annulus motor casing (v_f) lebih besar 1 ft/sec (syarat pendinginan) adalah pasangan yang harus dipilih.

12. Berdasarkan tabel, dapat diketahui bahwa arus listrik (I_m) 127 AMP dan tegangan listrik motor (V_m) 2270 Volt yang dibutuhkan untuk jenis motor yang bersangkutan.

13. Berdasarkan harga arus listrik, Centrilift menyarankan untuk memilih jenis kabel yang memiliki kehilangan tegangan di bawah 30 volt per 1000 ft. Pada umumnya kehilangan tegangan di kabel adalah setengah dari kapasitas maksimumnya. Menghitung *voltage loss* pada kabel dengan menggunakan persamaan berikut:

$$V_c = L_c \times \Delta V_{chart} \times C_T \tag{9}$$

$$V_c = 7460 \times 28 \times 1.34 = 279899.2 \text{ volt}$$

14. Menghitung tegangan total di permukaan yang bekerja pada *switchboard* dengan menggunakan persamaan berikut:

$$V_t = V_m + V_c = 2270 + 279899.2 = 282169.2 \text{ volt}$$

15. Menghitung daya yang dibutuhkan transformator dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$KVA = \sqrt{3} \times \frac{V_t I_m}{1000} \tag{10}$$

$$KVA = \sqrt{3} \times \frac{2549.89 \times 127}{1000} = 560.90 \text{ watt}$$

16. Memilih transformator dan *switchboard* dengan menggunakan Tabel K-1, K-2 dan K-3 yang memenuhi hasil perhitungan sebelumnya.

Tabel 4. SpeedStar 2000 Plus & SpeedStar SWD

SpeedStar 2000 Plus VSD and SpeedStar SWD VSD 6- and 12-Pulse Specifications (continued)									
A	Output Rating		Ambient Temperature Rating, degF [degC]	SpeedStar 2000 Plus VSD Dimensions (H x W x D), in [cm]		SpeedStar 2000 Plus VSD Approximate Weight, lbm [kg]	SpeedStar SWD VSD Dimensions (H x W x D), in [cm]		SpeedStar SWD VSD Approximate Weight, lbm [kg]
	kVA at 480 V	kVA at 380 V		NEMA 3R	NEMA 1		NEMA 3R	NEMA 1	
722	600	475	122 [50]	81.50 x 90.00 x 48.00 [207 x 229 x 122]	81.50 x 72.00 x 46.00 [207 x 183 x 117]	2,000 [907]	99.50 x 90.00 x 48.00 [252.7 x 229 x 122]	99.50 x 72.00 x 46.00 [252.7 x 183 x 117]	3,100 [1,406]
842	700	554	122 [50]	81.50 x 90.00 x 48.00 [207 x 229 x 122]	81.50 x 72.00 x 46.00 [207 x 183 x 117]	2,000 [907]	99.50 x 90.00 x 48.00 [252.7 x 229 x 122]	99.50 x 72.00 x 46.00 [252.7 x 183 x 117]	3,100 [1,406]
980	815	645	122 [50]	81.50 x 90.00 x 48.00 [207 x 229 x 122]	81.50 x 72.00 x 46.00 [207 x 183 x 117]	2,000 [907]	99.50 x 90.00 x 48.00 [252.7 x 229 x 122]	99.50 x 72.00 x 46.00 [252.7 x 183 x 117]	3,100 [1,406]
1,121	932	738	122 [50]	81.50 x 90.00 x 48.00 [207 x 229 x 122]	81.50 x 72.00 x 46.00 [207 x 183 x 117]	2,000 [907]	99.50 x 90.00 x 48.00 [252.7 x 229 x 122]	99.50 x 72.00 x 46.00 [252.7 x 183 x 117]	5,000 [2,268]
1,203	1,000	792	122 [50]	81.50 x 90.00 x 48.00 [207 x 229 x 122]	81.50 x 72.00 x 46.00 [207 x 183 x 117]	2,000 [907]	99.50 x 90.00 x 48.00 [252.7 x 229 x 122]	99.50 x 72.00 x 46.00 [252.7 x 183 x 117]	5,000 [2,268]
1,443	1,200	950	122 [50]	81.50 x 110.00 x 48.00 [207 x 279 x 122]	81.50 x 84.00 x 46.00 [207 x 213 x 117]	3,500 [1,588]	99.50 x 110.00 x 48.00 [252.7 x 279 x 122]	99.50 x 84.00 x 46.00 [252.7 x 213 x 117]	5,000 [2,268]
1,684	1,400	1,108	104 [40]	81.50 x 110.00 x 48.00 [207 x 279 x 122]	81.50 x 84.00 x 46.00 [207 x 213 x 117]	3,500 [1,588]	99.50 x 110.00 x 48.00 [252.7 x 279 x 122]	99.50 x 84.00 x 46.00 [252.7 x 213 x 117]	5,000 [2,268]
1,804	1,500	1,188	104 [40]	81.50 x 110.00 x 48.00 [207 x 279 x 122]	81.50 x 84.00 x 46.00 [207 x 213 x 117]	3,500 [1,588]	99.50 x 110.00 x 48.00 [252.7 x 279 x 122]	99.50 x 84.00 x 46.00 [252.7 x 213 x 117]	5,000 [2,268]

Berdasarkan hasil perhitungan, dapat disimpulkan bahwa design ESP yang sesuai untuk optimasi produksi sumur RFM-01 adalah S6000N pump dengan jenis ESP SpeedStar 2000 Plus & SpeedStar SWD. Impeller yang digunakan sebelumnya tidak mampu menangani laju alir yang tinggi dengan efisiensi optimal. Untuk itu, dilakukan inovasi pada desain impeller dengan memilih impeller jenis S6000N yang cocok untuk menangani fluida dengan GOR tinggi dan water cut besar. Total Dynamic Head (TDH) yang dihitung sebesar 7.843 ft memerlukan 137,6 tahap impeller. Motor REDA 562 Series dipilih karena mampu memberikan daya sebesar 406 HP yang diperlukan untuk mendukung operasi ESP ini [10].

Simulasi menunjukkan bahwa desain impeller ini mampu mencapai laju produksi optimal sebesar 5.185 bopd, yang sesuai dengan hasil kurva IPR. Implementasi di lapangan menunjukkan peningkatan produksi yang signifikan dibandingkan desain impeller sebelumnya. Selain itu, umur pakai ESP juga meningkat karena impeller dapat mengelola campuran fluida dengan efisiensi yang lebih baik.

4. SIMPULAN

Inovasi impeller pada pompa ESP berhasil mengoptimalkan produksi sumur RFM-01 di lapangan XYZ. Desain impeller S6000N dengan motor REDA 562 Series terbukti mampu menangani kondisi sumur dengan GOR tinggi dan water cut yang besar. Peningkatan laju produksi hingga 5.185 bopd dan perpanjangan umur pakai ESP merupakan hasil yang signifikan dari inovasi ini. Hasil uji lapangan membuktikan bahwa impeller yang dirancang memberikan solusi efektif dalam meningkatkan efisiensi produksi pada sumur tua.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. E. Brown, *The Technology of Artificial Lift Methods*. Tulsa, OK: Penn Well Publishing Company, 1984.
- [2] T. Ahmed, *Reservoir Engineering Handbook*, 5th ed., vol. 5, no. 9. Cambridge, MA: Joe Hayton, 2019.
- [3] G. Takacs, *Electrical Submersible Pumps Manual: Design, Operations, and Maintenance (Gulf Equipment Guides)*. Gulf Publishing Company, 2009.
- [4] B. Guo, *Petroleum Production Engineering*. Gulf Professional Publishing, 2007.
- [5] H. H. Al-Kayiem and A. A. Mohamad, *Electric Submersible Pumps (ESP) Design and Optimization*. Springer, 2017.

- [6] M. Ebrahimi and E. Kelmendi, "Artificial Lift Design and Optimization for High-GOR Wells," *Society of Petroleum Engineers (SPE)*, 2020.
- [7] L. W. Lake, *Petroleum Engineering Handbook*, vol. IV. Texas: Society of Petroleum Engineers, 2010.
- [8] H. Cholet, *Well Production Practical Handbook*. Paris: Editions Technip, 2000.
- [9] D. Rukmana, D. Kristanto, and V. D. Cahyoko Aji, *Teknik Reservoir: Teori dan Aplikasi*, Edisi Revisi. Yogyakarta: Pohon Cahaya, 2018.
- [10] S. D. Joshi, *Horizontal Well Technology*. Tulsa, OK: Penn Well Publishing Company, 1991.

Daftar Simbol

ESP	= <i>electrical submersible pump</i>
J	= indeks produktivitas, bbl/d/psi
Q	= laju produksi fluida, bfpd
Ps	= tekanan reservoir statik, psi
Pwf	= tekanan aliran pada dasar sumur
Qo	= laju alir fluida, bopd
(Qo)max	= laju alir maksimum, bopd
GOR	= <i>gas oil ratio</i>
Gf	= gradien tekanan rata-rata, psi/ft
SG	= <i>specific gravity</i> rata-rata
SGo	= <i>specific gravity</i> minyak
SGw	= <i>specific gravity</i> air
WC	= <i>water cut</i>
WOR	= <i>water oil ratio</i>
Ppi	= <i>pump intake pressure</i> atau <i>suction pressure</i> , psi
Pwf	= tekanan alir dasar sumur, psi
Zp	= kedalaman perforasi (pada datum Pwf), ft
Z	= kedalaman pompa (kedalaman <i>pump intake</i>), ft
S	= jumlah <i>stage</i> (tingkat)