



Redesain *Electric Submersible Pump* (Esp) pada Sumur yang Mengandung Gas “W- 30” Lapangan “A”

Dinar Hananto Kurniawan

STT Migas Cilacap

Jl. Raya Tritih Lor no 43 Jeruklegi Kabupaten Cilacap, Jawa Tengah, 53252, Indonesia.

ABSTRAK

Artikel Info:

Naskah Diterima:
20 Desember 2023

Diterima setelah
perbaikan:
24 Januari 2024

Disetujui terbit:
31 Januari 2024

Kata Kunci:

redesain
electric submersible pump
mengandung gas
wiggins
coltharp

Sumur “W-30” terpasang pompa dengan tipe P4/60Hz. Pompa ini mempunyai rentang produksi antara 300 blpd–600 blpd, sementara laju produksi aktual adalah 614 blpd. Dari sini sudah terlihat bahwa laju alir berada di atas rentang produksi pompa. Selain itu, berdasarkan grafik *Coltharp*, persentase *upthrust* yang terjadi mencapai 63%, yang mana melebihi batas 50%, sehingga perlu adanya redesign. Redesain dimulai dengan pembuatan IPR metode *Wiggins* karena metode ini cocok untuk sumur dua fasa dan WC yang tinggi. Kemudian, dilakukan sensitivitas frekuensi dan analisis gas bebas pada pompa terpasang untuk memastikan bahwa pompa terpasang sudah teroptimasi. Hasil sensitivitas frekuensi tidak menghasilkan laju alir yang diinginkan, sehingga langkah yang dipilih adalah penggantian pompa melalui sensitivitas frekuensi pada PSD konstan untuk menentukan frekuensi pompa yang akan dipasang, dilanjutkan dengan sensitivitas PSD pada frekuensi konstan untuk menentukan PSD pompa yang akan dipasang. Hasilnya adalah penggantian pompa menjadi tipe P6/60 Hz yang memiliki rentang produksi antara 400 blpd–900 blpd. Persentase *downthrust* menjadi hanya 12%.

ABSTRACT

In well “W-30,” a pump of type P4/60Hz is installed. This pump has a production range of 300 blpd–600 blpd, while the actual production rate is 614 blpd. It is evident that the flow rate exceeds the pump’s production range. Also, based on the Coltharp graph, the upthrust percentage that occurs is 63% surpassing the 50% limit, so it requires a redesign. The redesign began with the creation of the Wiggins IPR method because this method is suitable for two-phase wells and high WC. Then, frequency sensitivity and free gas analysis were conducted on the installed pump to ensure that the installed pump is optimized. The frequency sensitivity results did not produce the desired flow rate, so the step chosen was replacing the pump through frequency sensitivity at a constant PSD to determine the frequency of the pump to be installed, followed by PSD sensitivity at a constant frequency to determine the PSD of the pump to be installed. The result is the replacement of the pump to the P6/60 Hz type with a production range of 400 blpd–900 blpd. The downthrust percentage decreased to only 12%.

© LPMGB - 2024

PENDAHULUAN

Electrical submersible pump menduduki posisi kedua artificial lift yang paling banyak digunakan di dunia (Abdalla et al., 2022). Sekitar 60% dari

produksi minyak di dunia menggunakan artificial lift ini (Peng et al., 2021). Bahkan, lebih dari 90% sumur-sumur di offshore menggunakan ESP (Peng et al., 2021), di antaranya adalah sumur berarah

Korespondensi:

E-mail: info@sttmigascilacap.ac.id (Dinar Hananto Kurniawan)

(Widiyanto & Syahrial, 2022) yang terpasang dengan impeller dan diffuser khusus (Shahid et al., 2021). Di China, artificial lift ini menjadi metode utama untuk memproduksi minyak dari sumur dengan tenaga dorong air (Zhao et al., 2021). Di Russia, artificial lift ini paling banyak digunakan, bahkan lebih banyak dari sumur sumur sembur alam (Shishlyannikov et al., 2021). Agak sedikit berbeda dengan artificial lift lainnya, ESP sangat terpengaruh dengan adanya gas (Iranzi et al., 2022) dan gelembung udara yang akan menyebabkan terjadinya gas lock (Ali et al., 2022). Salah satu metode untuk menanggulangi adanya gas yang terlalu banyak adalah dengan menonaktifkan ESP sementara (Iranzi et al., 2022). Namun, sama seperti artificial lift lainnya, ESP juga terpengaruh oleh adanya padatan (Zhu et al., 2019) yang bisa ditanggulangi dengan metode terintegrasi (Rogachev & Aleksandrov, 2021). Padatan akan menyebabkan terjadinya erosi pada ESP. Banyak lapangan yang sudah berada di tahap akhir pengembangan yang memerlukan efisiensi energi produksi minyak (Petrochenkov et al., 2023). Di sisi lain, banyak perusahaan minyak yang merencanakan konsumsi energi dengan baik, disebabkan oleh tingginya biaya produksi minyak (Gizatullin et al., 2019). PT. Pertamina EP Asset 3 Field Tambun memiliki beberapa sumur yang menggunakan artificial lift jenis ESP. Salah satunya adalah sumur W-30. Pada sumur ini terpasang pompa dengan seri P4 yang mempunyai rentang optimum production antara 300 hingga 600 blpd (Schlumberger, 2011).

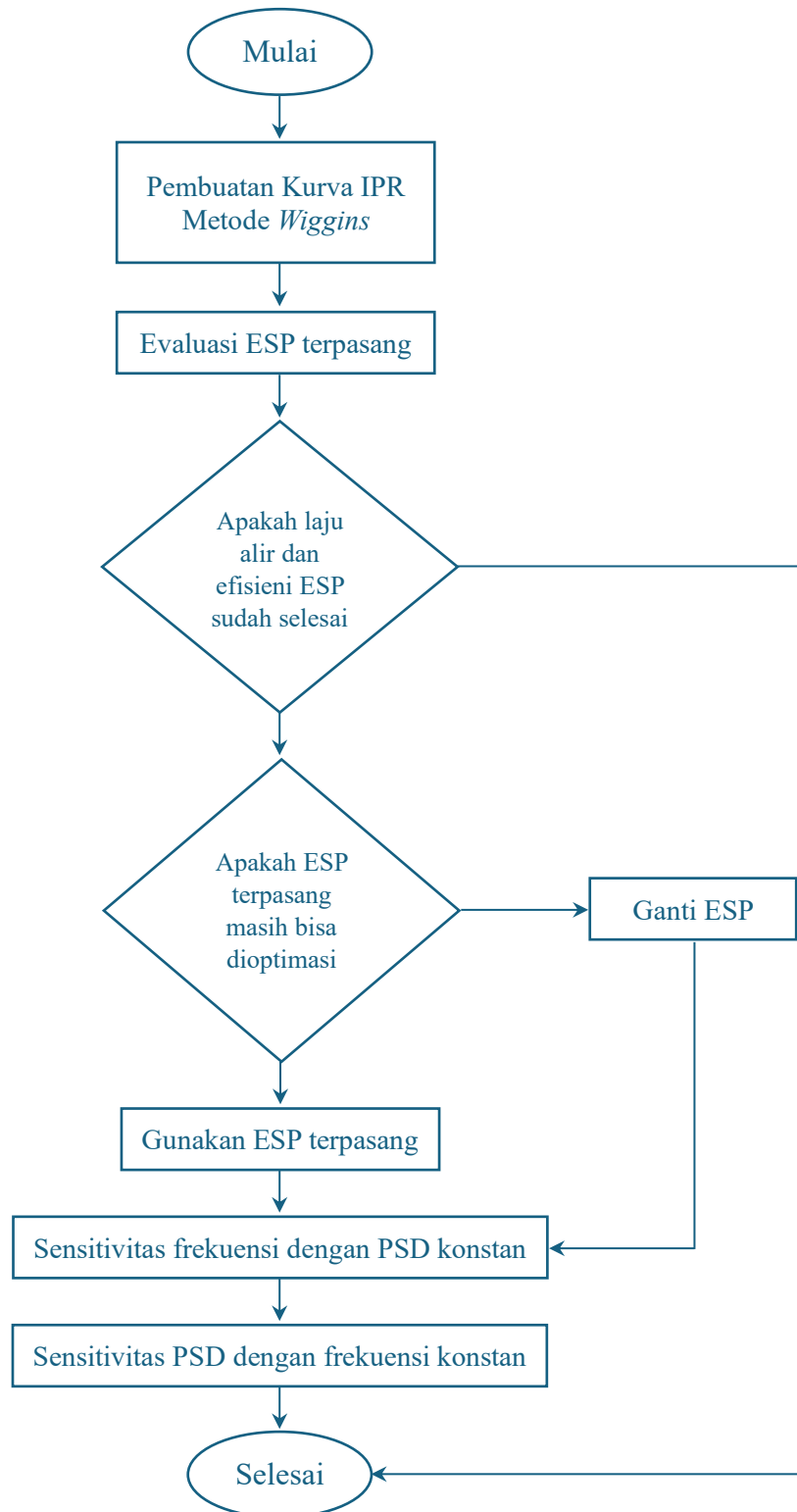
Meskipun demikian, kenyataannya sumur ini mempunyai laju alir aktual sebesar 614 blpd. Tentu saja hal ini menyebabkan terjadinya upthrust atau naiknya impeller dari posisi awal pada pompa. Untuk menghindari terjadinya upthrust namun tetap mendapatkan laju alir yang diinginkan, maka perlu dilakukan evaluasi sekaligus redesain pada sumur W-30. Hal ini mengingat biaya yang ditimbulkan ketika terjadi failure sangat tinggi (Peng et al., 2021) dan akan mengganggu produksi sumuran (Pham et al., 2021) yang dapat dideteksi melalui beberapa metode (Lingom et al., 2023; Yang et al., 2022). Evaluasi electric submersible pump ini diharapkan dapat meningkatkan produktivitas sumur yang tercermin dari meningkatnya indeks produktivitas dan laju produksi. Untuk meningkatkan produktivitas sumur tersebut, beberapa parameter ESP yang dapat diubah mencakup PSD, TDH, frekuensi pompa, horsepower pompa, dan jumlah stages pompa. Parameter-parameter tersebut bisa dikatakan berada pada nilai yang tepat ketika pompa dapat berproduksi sesuai

dengan laju alir yang diinginkan dengan efisiensi maksimal.

BAHAN DAN METODE

Metodologi penelitian ini diawali dengan mengumpulkan data. Adapun data yang didapatkan antara lain: data sumur “W-30”, data produksi, data PVT, dan data pompa terpasang. Data produksi digunakan untuk membuat kurva IPR dengan metode Wiggins, Data PVT untuk menentukan PSD, dan data pompa terpasang untuk dievaluasi. Pekerjaan dimulai dengan membuat kurva IPR dengan metode Wiggins. Metode ini merupakan salah satu metode IPR yang digunakan untuk sumur tiga fasa (gas, minyak, dan air). Metode ini dipilih karena memiliki metode analisis yang mendetail untuk setiap fasa fluida. Terlebih lagi pada sumur ini terdapat gas yang lumayan banyak. Kemudian, dilanjutkan dengan mengevaluasi pompa yang terpasang pada sumur yang mengandung gas, yaitu sumur “W-30” berdasarkan efisiensi pompa. Langkah ini bisa dilihat dari *pump performance curve*. Apabila efisiensi pompa sudah tidak berada di dalam rentang yang optimum, maka akan terjadi *upthrust* ataupun *downthrust*. *Upthrust* adalah kondisi di mana *impeller* naik hingga bergesekan dengan *diffuser*, sedangkan *downthrust* adalah kondisi ketika *impeller* turun dan bergesekan dengan *diffuser*. *Upthrust* dan *downthrust* akan berdampak kepada menurunnya efisiensi pompa dan akan menurunkan laju produksi (Zhou et al., 2020). Toleransi *upthrust* dan *downthrust* maksimum adalah di bawah dari 50% (Coltharp, 1984). Jika terjadi seperti itu, maka harus dilakukan redesain.

Redesain dilakukan dengan memaksimalkan kinerja pompa yang terpasang untuk mencapai laju produksi dan efisiensi yang diinginkan. Apabila ternyata pompa terpasang tidak mampu memenuhi laju alir dan efisiensi yang diinginkan, maka dengan terpaksa harus dilakukan penggantian pompa. Langkah awal penggantian pompa dilakukan dengan memilih pompa yang mempunyai rentang optimum produksi yang sesuai dengan yang diinginkan. Setiap pompa memiliki *pump performance curve* untuk menentukan ini. Setelah menentukan pompa yang cocok, kemudian dilakukan sensitivitas frekuensi dengan PSD konstan yang bertujuan untuk menentukan frekuensi pompa yang akan dipasang nantinya. Kemudian, dilanjutkan dengan sensitivitas PSD pada frekuensi konstan untuk menentukan PSD yang tepat pada pompa nantinya. Adapun diagram alir penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1
Diagram alir penelitian ini

HASIL DAN DISKUSI

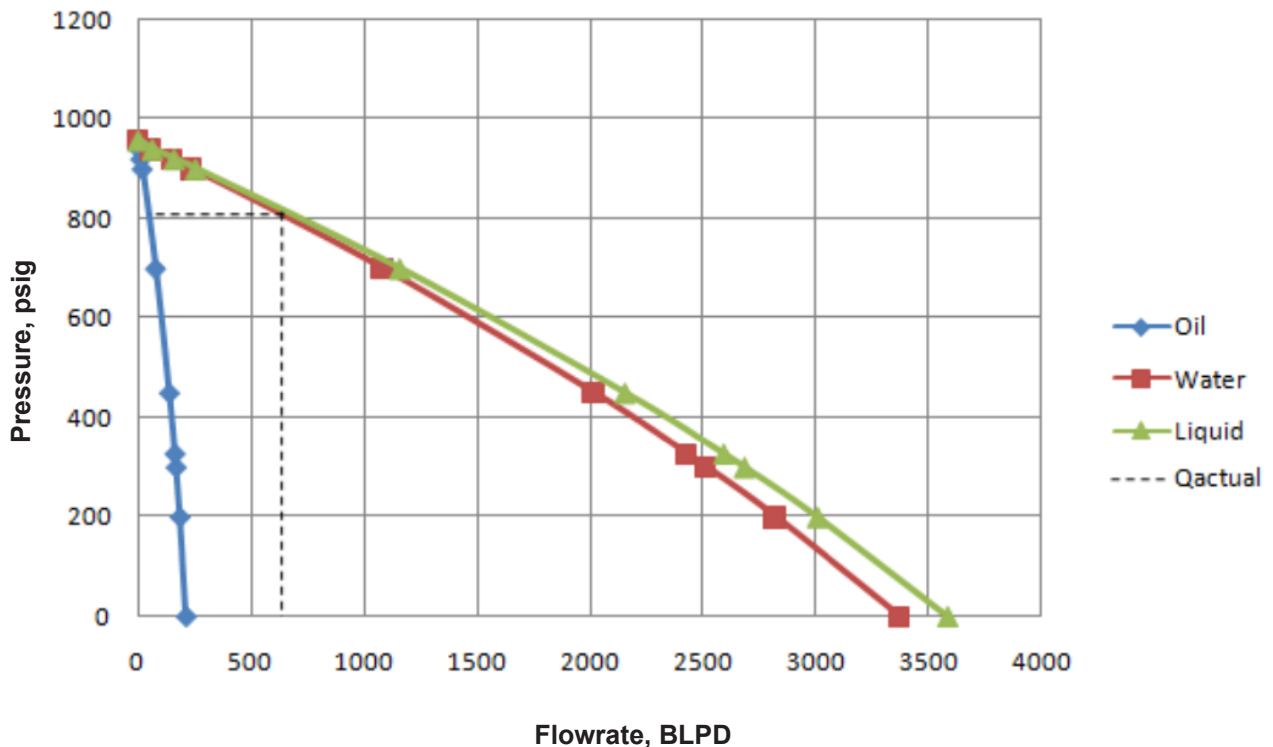
Pembuatan Kurva IPR

Metode yang digunakan dalam pembuatan kurva IPR adalah dengan metode Wiggins. Metode ini merupakan pengembangan dari metode Vogel dengan analisis regresi simulasi *reservoir* dan menghasilkan konstanta tertentu untuk air dan minyak (Wiggins, 1993). Metode ini digunakan karena kondisi fluida pada sumur ini merupakan fluida dua fasa dan WC dari sumur ini sudah cukup tinggi, yaitu mencapai 93%. Metode ini dapat menunjukkan kurva IPR untuk air dan minyak serta cairan sekaligus. Adapun kurva yang dihasilkan terlihat pada Gambar 2 di bawah ini.

Evaluasi ESP terpasang

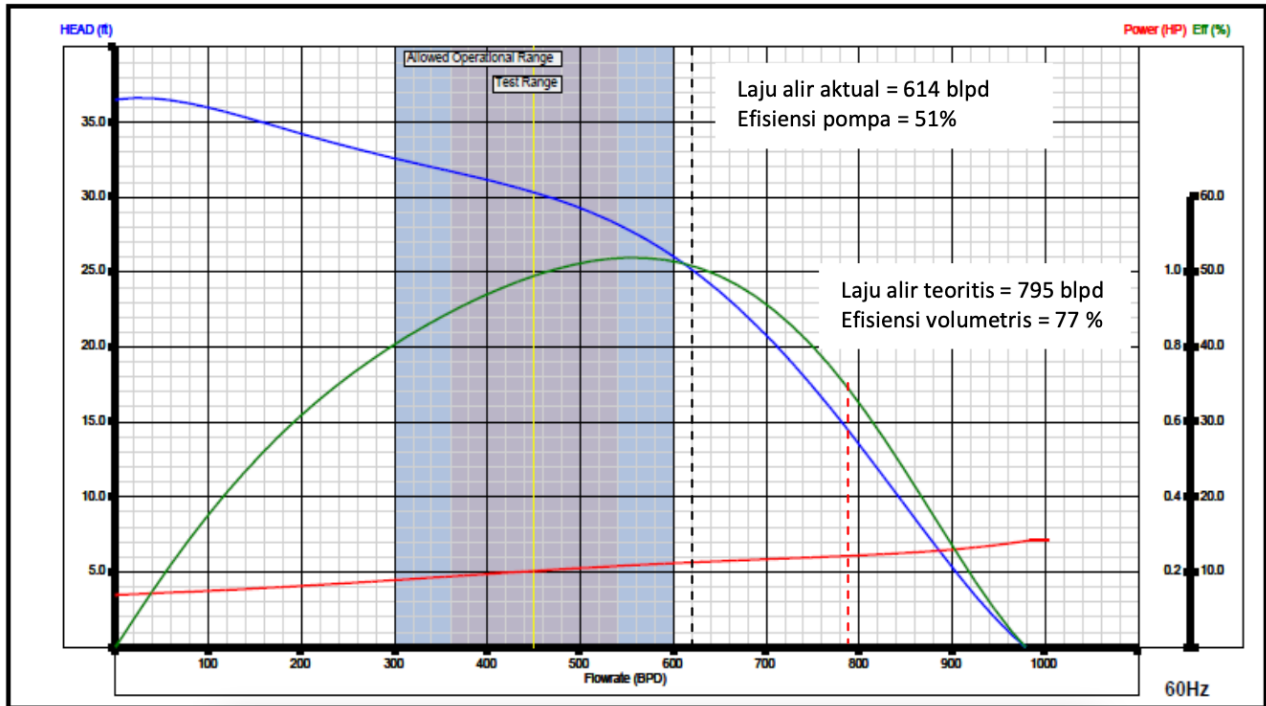
Setelah membuat kurva IPR, langkah selanjutnya adalah mengevaluasi ESP terpasang. ESP terpasang pada sumur “W-30” ini adalah ESP tipe P4 dengan rentang produksi optimum antara 300–600 blpd. ESP pada sumur ini memiliki PSD 1746,93 m, frekuensi 60 Hz dan *stages* 304. ESP pada sumur ini dioperasikan dengan REDA 540 Series Motor 2300 V/101A 126 hp yang tersambung dengan sumber tenaga dari FixStar Fixed-Speed Drive melalui kabel Redalead 4 kV round 6 AWG sepanjang 1776,93 m. Tipe gas separator yang terpasang pada sumur ini adalah 400 Series Rotary Gas Separator DRS-ES. Jika dilihat dari *pump performance curve* pompa tipe P4 yang terlihat pada Gambar 3, maka dapat dipastikan bahwa pada pompa ini terjadi permasalahan, yaitu terjadinya *upthrust*.

IPR Curve W-30

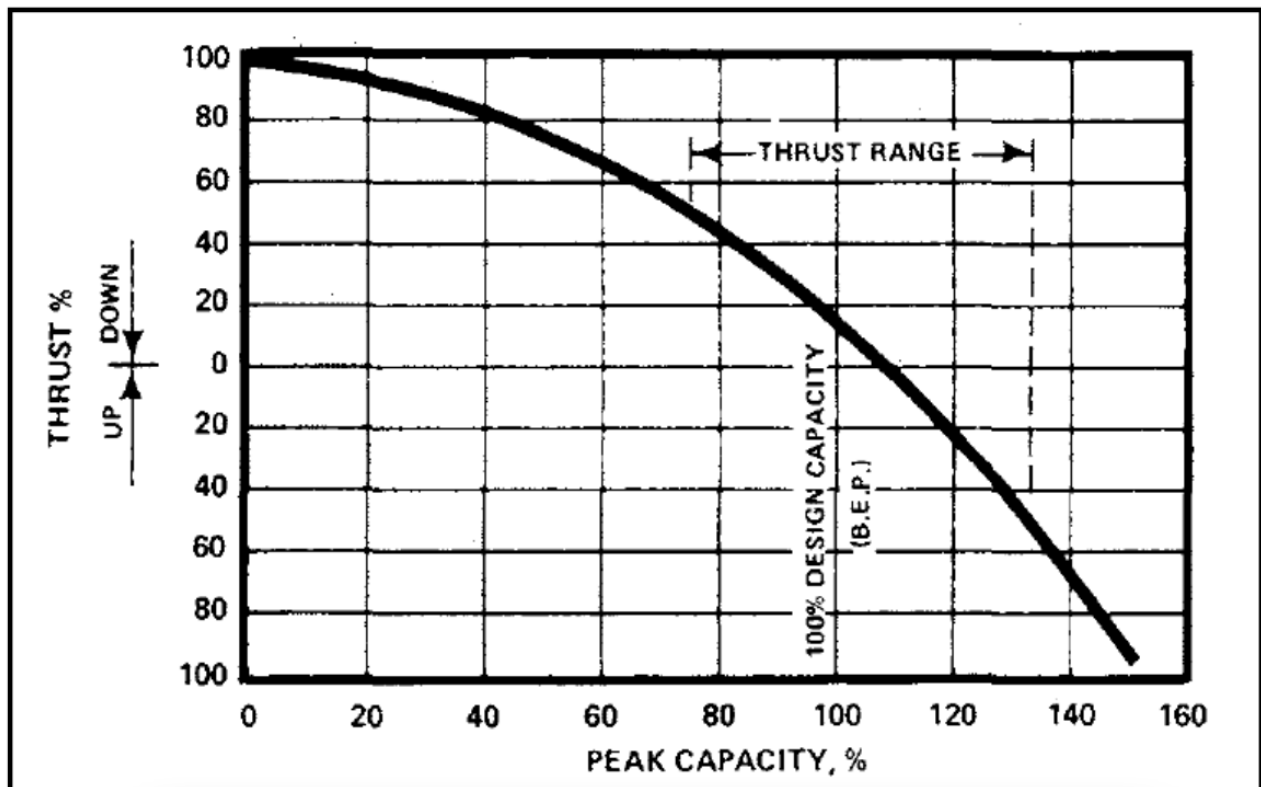


Gambar 2
Kurva IPR Sumur “W-30”

Redesain *Electric Submersible Pump* (Esp) pada Sumur yang Mengandung Gas “W- 30” Lapangan “A”
(Dinar Hananto Kurniawan)



Gambar 3
Pump performance curve P4 (REDA Electric Submersible Pump Systems Technology Catalog, n.d.)



Gambar 4
Presentase upthrust dan downthrust maksimum (Coltharp, 1984)

Permasalahan ini akan memperpendek *lifetime* pompa ESP. Hal ini terjadi karena laju alir yang dihasilkan oleh pompa ini sebesar 614 blpd, yang berada di atas rentang produksi pompa P4. Dan jika dilihat pada kurva pada Gambar 4, maka persentase *upthrust* ESP pada sumur ini sudah berada di atas 60% yang menandakan kinerja pompa tidak optimal, di mana persentase batas toleransinya adalah di bawah 50% (Coltharp, 1984). Keadaan seperti ini mengharuskan dilakukannya redesain pada ESP terpasang.

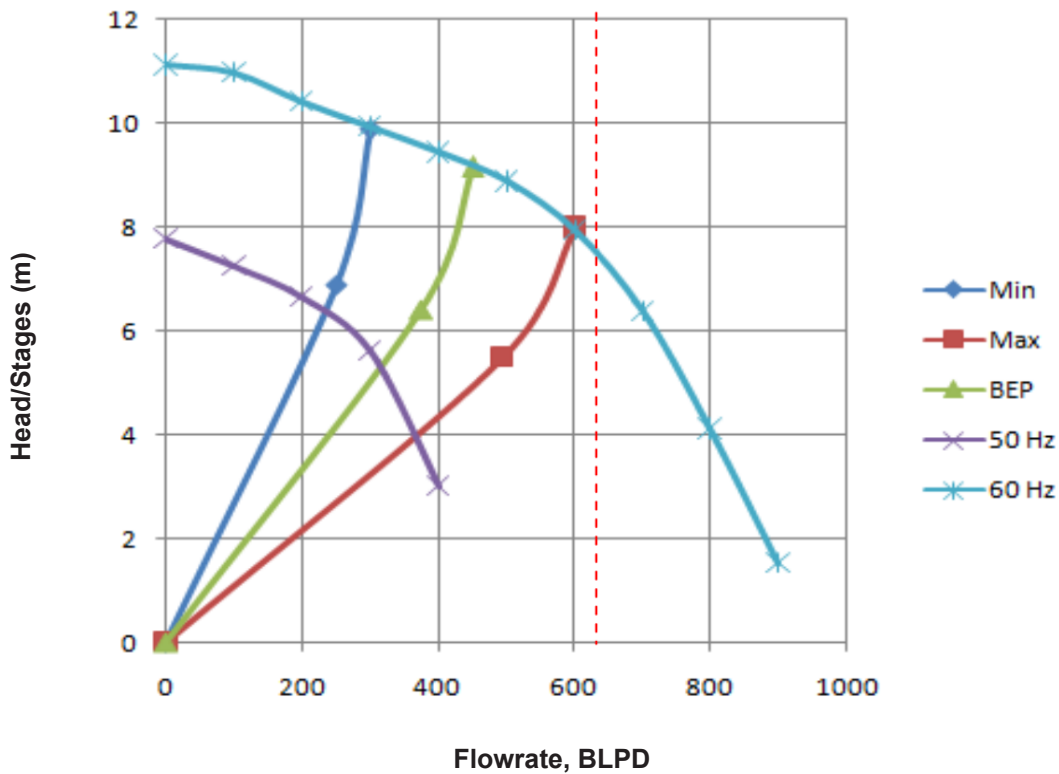
Redesain ESP

Redesain ESP pada penelitian ini mempunyai keterbatasan, antara lain: hanya berpatokan kepada laju alir aktual saja, tidak mempertimbangkan batas kiri dan kanan kurva IPR, dan hanya menggunakan *artificial lift* jenis ESP saja. Langkah awal dalam melakukan redesain adalah dengan melihat kemampuan produksi suatu sumur. Hal ini dapat dilihat dari kurva IPR. Jika memungkinkan untuk dinaikkan laju produksinya, maka dipilih laju alir desain yang sesuai dengan yang diharapkan. Langkah

selanjutnya adalah melakukan sensitivitas frekuensi pada pompa terpasang. Sensitivitas frekuensi yang menghasilkan perpotongan kurva VSD dengan *head/stages* pada tiap laju alir yang diasumsikan masih jauh dari perpotongan kurva pada laju alir yang diharapkan seperti yang terlihat pada Gambar 5.

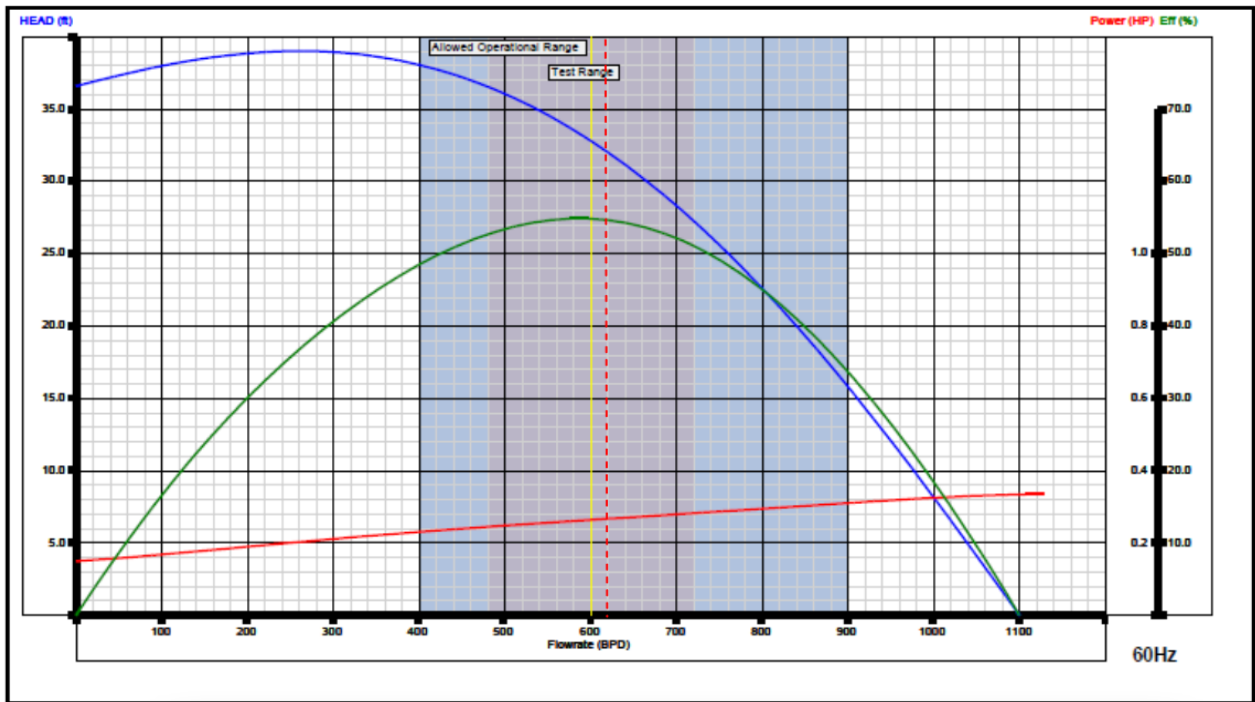
Sensitivitas frekuensi yang telah dilakukan pada pompa terpasang tidak menghasilkan laju alir yang diharapkan. Langkah terakhir yang dipilih adalah dengan penggantian pompa yang memiliki rentang produksi yang sesuai dengan laju produksi yang diharapkan. Terdapat pompa yang cocok digunakan pada laju alir 614 blpd, yaitu pompa tipe P6 yang memiliki *pump performance curve* terlihat di Gambar 6.

Pemilihan pompa ini berdasarkan sensitivitas frekuensi dengan PSD konstan. Dari sensitivitas frekuensi pompa P6 menghasilkan perpotongan kurva BEP dengan frekuensi yang sangat mendekati laju alir yang diharapkan, di mana kurva tersebut bisa dilihat pada Gambar 7.

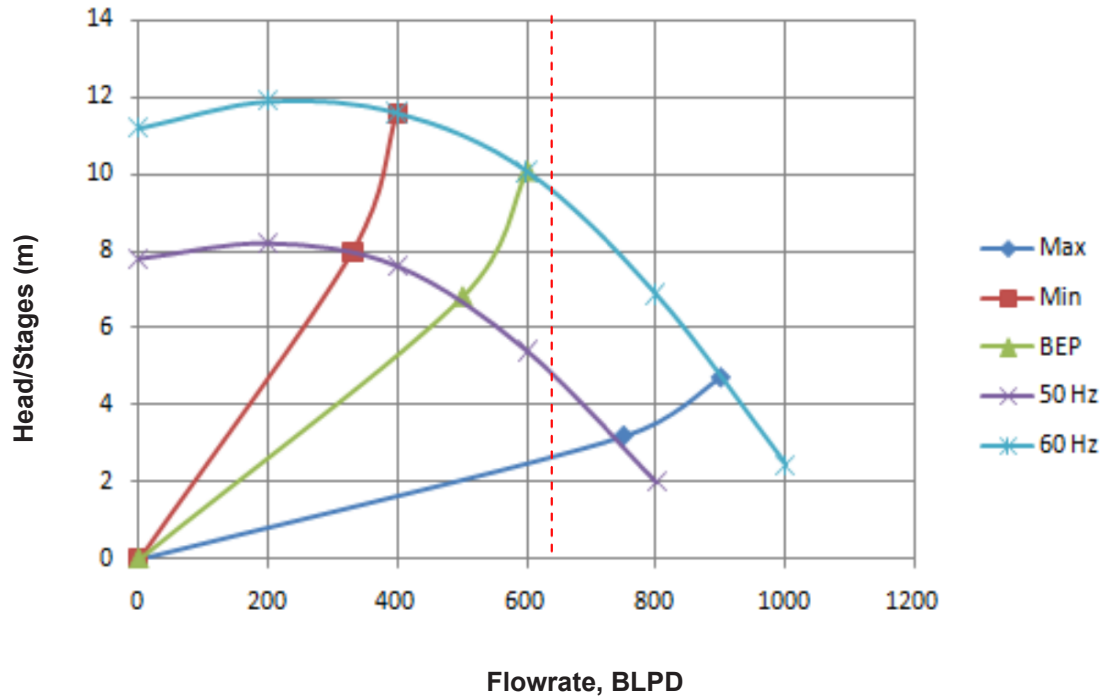


Gambar 5
Grafik sensitivitas antara *head/stages* dengan laju alir pada setiap frekuensi pompa P4

Redesain *Electric Submersible Pump* (Esp) pada Sumur yang Mengandung Gas “W- 30” Lapangan “A”
(Dinar Hananto Kurniawan)



Gambar 6
Pump performance curve P6 (REDA Electric Submersible Pump Systems Technology Catalog, n.d.)



Gambar 7
Grafik sensitivitas antara *head/stages* dengan laju alir pada setiap frekuensi pompa P6

Tabel 1

Hasil sensitivitas PSD pada frekuensi konstan yang dilakukan pada 90%, 97%, 100%, dan 105% dari PSD terpasang

Pump design	PSD			
	1572.25 (90% PSD)	1687.76 (97% PSD)	1746.93 (100% PSD)	1834.28 (105% PSD)
PIP	517.31	681.17	765.10	757.01
Rs	278.53	350.81	386.17	382.81
Ql	614	614	614	614
Qg	1564	1172	996	1012
% Gas bebas	38.79	32.22	61.78	62.15
Natural gas separation				
η_n	69.40	69.37	69.35	69.29
Q'ing	479.29	359.64	305.62	311.20
Φ	1.01	0.57	0.43	0.45
Qt	1093.29	973.64	921.62	925.20
Gas separator				
η_n	75	75	75	75
Q''ing	119.82	89.91	76.40	77.80
Φ	0.25	0.14	0.11	0.11
Qt	733.82	703.91	690.40	691.80
% Gas bebas	16.30	12.80	11.10	11.25

Dengan demikian, dipilih pompa tipe P6 dengan frekuensi 60 Hz. Langkah selanjutnya adalah menentukan PSD dengan sensitivitas PSD pada frekuensi konstan yang hasilnya bisa dilihat pada Tabel 1, kedalaman PSD haruslah berada di antara PSD maksimum dan PSD minimum.

Berdasarkan perhitungan, didapatkan nilai PSD maksimum sebesar 1867 ft dan nilai PSD minimum sebesar 1207,53 m. Dari kedua nilai tersebut, diambil sampel 90%, 97%, 100%, dan 105% dari PSD terpasang.

Kemudian setelah dilakukan sensitivitas PSD, didapatkan PSD yang optimal adalah PSD existing. PSD terpasang menghasilkan persentase gas bebas yang paling kecil dan menghasilkan parameter Turpin di bawah 1, yang menandakan bahwa PSD terpasang tidak menyebabkan terjadinya *gas lock*. Setelah ditentukan nilai PSD yang optimal, langkah selanjutnya adalah menghitung PIP.

Perhitungan PIP merupakan pengurangan dari Pwf dengan perbedaan tekanan yang merupakan konversi dari perbedaan kedalaman antara mid perforasi dengan PSD, dan dihasilkan PIP sebesar 765,1 psi. Setelah menentukan PIP, langkah selanjutnya adalah

menentukan TDH yang merupakan penjumlahan dari parameter H_D , H_F , dan H_T . *Vertical lift* merupakan pengurangan dari PSD dengan FOP. FOP ini merupakan konversi dari PIP dalam satuan tekanan menjadi satuan panjang dengan membagi PIP dengan gradien fluida, didapatkan FOP sebesar 539,4 m. Kemudian mengurangi FOP dengan PSD, dan didapatkan H_D sebesar 1207,53 m. Berbeda dengan H_D , H_F merupakan perkalian antara *friction loss* dengan PSD setiap 1000 ft. Penentuan *friction loss* menggunakan persamaan agar didapat nilai yang mempunyai ketelitian lebih tinggi daripada yang didapatkan dari grafik. Dengan persamaan tersebut, didapatkan harga *friction loss* sebesar 4,014, dan H_F sebesar 7 m. Parameter terakhir untuk menentukan TDH adalah H_T . Parameter ini merupakan konversi tekanan tubing dari satuan tekanan menjadi satuan panjang dengan membagi tekanan tubing dengan gradien fluida. Didapatkan harga H_T sebesar 67 m. Setelah ketiga parameter tersebut didapat, kemudian dijumlahkan dan didapatkan TDH sebesar 1281,52 m atau 4204,7 ft.

Hasil redesain ESP pada sumur "W-30" ini dipilih pompa tipe P6 karena pompa ini menghasilkan perpotongan kurva BEP dan frekuensi 60 Hz

yang sangat mendekati laju alir yang diharapkan. Selain itu, jika dilihat dari rentang produksinya, pompa ini mempunyai rentang produksi yang lebih tinggi dari pompa P4, yaitu berkisar antara 400 bld-900 bld. Kemudian, dilakukan perhitungan dengan menggunakan pompa P6 ini dan didapatkan jumlah *stages* yang dibutuhkan sebanyak 131,4 dan dibulatkan menjadi 132 *stages*. Gas separator yang digunakan adalah tipe 400 Series Rotary Gas Separator DRS-ES. Untuk mengoperasikan pompa, dipilih motor dengan seri REDA 540 Series Motor 513 V/46 A dengan *motor power* 33,1 hp yang terhubung pada *surface power* melalui kabel tipe Redalead 4 kV flat 6 AWG sepanjang 1776,93 m. Diameter kabel tidak boleh melebihi *clearance* antara ID casing dengan OD motor. ID casing bernilai 6,276 in, sedangkan OD motor bernilai 5,2 in sehingga *clearance* bernilai 0,626 in. Tipe kabel yang akan digunakan harus dapat memenuhi kriteria *ampere motor* serta sesuai dengan kondisi sumur. *Ampere motor* pada pompa ini sebesar 46 A dan sumur ini memiliki gas yang cukup banyak. Untuk memenuhi kebutuhan *voltage* dan *ampere motor* yang diperlukan, digunakan *surface power*. Sebelumnya, harus ditentukan KVA yang dibutuhkan dengan mengalikan *voltage supply* dengan *ampere motor* dan 1,73. Didapatkan harga KVA sebesar 158,67 KVA. *Surface power* yang dapat mengakomodasi kebutuhan sebesar 158,67 KVA dengan frekuensi tetap adalah seri FixStar Fixed-Speed Drive.

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil evaluasi dan redesain ESP pada sumur “W-30” Lapangan “A” didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

Pompa P4/60 Hz dengan rentang produksi antara 300 bld-600 bld, PSD 1746,93 m, jumlah *stages* 304 dioperasikan dengan motor REDA 540 Series 2300 V/101 A 126 hp yang dihubungkan dengan *surface power* FixStar Fixed-Speed Drive melalui kabel Redalead 4 kV flat 6 AWG sepanjang 1776,93 m, dan terpasang gas separator tipe 400 Series Rotary Gas Separator bekerja dengan tidak efisien dikarenakan ESP pada sumur “W-30” terjadi *upthrust* dengan persentase sebesar 63%.

Oleh karena itu, ESP pada sumur “W-30” diganti dari tipe P4 menjadi P6 dengan frekuensi, PSD, tipe motor, tipe kabel, dan *surface power* sama dengan ESP existing, namun jumlah *stages* dan *motor power*-nya diubah menjadi 132 dan 33,1 hp. Persentase

downthrust menjadi hanya 12%, di mana nilai ini masih jauh di bawah batas toleransi *thrust* sebesar 50%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT Pertamina EP Asset 3 Field Tambun dan STT MIGAS CILACAP atas dukungannya dalam menyusun penelitian ini.

DAFTAR ISTILAH/SINGKATAN

Simbol	Definisi	Satuan
BEP	Best Efficiency Pump	
ESP	Electric submersible pump	
FOP	Fluid over pump	m
Horse power	Kekuatan motor yang dinyatakan dalam satuan daya kuda	hp
H _D	Vertical lift	m
H _F	Tubing Friction Loss	m
H _T	Tubing head	m
ID	Inside diameter	inchi
IPR	Inflow Performance Relationship	
KVA	Kilovolt ampere efisiensi dari pemisahan gas secara alami	KVA
η _n		%
OD	Outside diameter	inchi
PIP	Pump intake pressure	psi
PSD	Pump Setting Depth	m
Φ	Parameter Turpin	Psi ⁻¹
Q _l	Banyaknya cairan dalam satuan barrel per hari	bld
Q _g	Banyaknya gas dalam satuan barrel per hari	bpd
Q'ing	Jumlah gas yang masuk ke dalam pompa	bpd
	Jumlah gas bebas	

Q'ing	masuk ke dalam pompa	bpd
Q"ing	Jumlah gas bebas yang masuk kedalam gas separator	bpd
Rs	Kelarutan gas dalam minyak	Scf/STB
TDH	Total Dynamic Head	m
VSD	Variable Speed Drive	
WC	Water cut	%

REFERENSI

- Abdalla, R., Samara, H., Perozo, N., Carvajal, C. P., & Jaeger, P. (2022). Machine Learning Approach for Predictive Maintenance of the Electrical Submersible Pumps (ESPs). *ACS Omega*, 7(21), 17641–17651. <https://doi.org/10.1021/acsomega.1c05881>
- Ali, A., Si, Q., Wang, B., Yuan, J., Wang, P., Ra-sool, G., Shokriani, A., Ali, A., & Zaman, M. A. (2022). Comparison of empirical models using experimental results of electrical submersible pump under two-phase flow: Numerical and empirical model validation. *Physica Scripta*, 97(6), 065209. <https://doi.org/10.1088/1402-4896/ac6e96>
- Gizatullin, F. A., Khakimyanov, M. I., & Shafikov, I. N. (2019). Energy efficiency of well electric submersible pumps for oil production. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 537(6), 062006. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/537/6/062006>
- Iranzi, J., Son, H., Lee, Y., & Wang, J. (2022). A Nodal Analysis Based Monitoring of an Electric Submersible Pump Operation in Multiphase Flow. *Applied Sciences*, 12(6), 2825. <https://doi.org/10.3390/app12062825>
- Lingom, P. M., Song-Manguelle, J., Betoka-Onyama, S. P., Nyobe-Yome, J. M., & Doumbia, M. L. (2023). A Power Quality Assessment of Electric Submersible Pumps Fed by Variable Frequency Drives under Normal and Failure Modes. *Energies*, 16(13), 5121. <https://doi.org/10.3390/en16135121>
- Peng, L., Han, G., Sui, X., Pagou, A. L., Zhu, L., & Shu, J. (2021). Predictive Approach to Perform Fault Detection in Electrical Submersible Pump Systems. *ACS Omega*, 6(12), 8104–8111. <https://doi.org/10.1021/acsomega.0c05808>
- Petrochenkov, A., Ilyushin, P., Mishurinskikh, S., & Kozlov, A. (2023). Development of a Method for Improving the Energy Efficiency of Oil Production with an Electrical Submersible Pump. *Inventions*, 8(1), 29. <https://doi.org/10.3390/inventions8010029>
- Pham, S. T., Vo, P. S., & Nguyen, D. N. (2021). Effective Electrical Submersible Pump Management Using Machine Learning. *Open Journal of Civil Engineering*, 11(01), 70–80. <https://doi.org/10.4236/ojce.2021.111005>
- REDA Electric Submersible Pump Systems Technology Catalog. (n.d.).
- Rogachev, M., & Aleksandrov, A. (2021). Justification of a comprehensive technology for preventing the formation of asphalt-resin-paraffin deposits during the production of highlyparaffinic oil by electric submersible pumps from multiformation deposits. *Journal of Mining Institute*, 250, 596–605. <https://doi.org/10.31897/PMI.2021.4.13>
- Shahid, S., Sham Dol, S., Hasan, A. Q., Kassem, O. M., Gadala, M. S., & Aris, M. S. (2021). A Review on Electrical Submersible Pump Head Losses and Methods to Analyze Two-Phase Performance Curve. *WSEAS TRANSACTIONS ON FLUID MECHANICS*, 16, 14–31. <https://doi.org/10.37394/232013.2021.16.3>
- Shishlyannikov, D., Zverev, V., Ivanchenko, A., & Zvonarev, I. (2021). Increasing the Time between Failures of Electric Submersible Pumps for Oil Production with High Content of Mechanical Impurities. *Applied Sciences*, 12(1), 64. <https://doi.org/10.3390/app12010064>
- Widiyanto, G., & Syahrial, E. (2022). Optimasi Pompa pada Dewatering Sumur CBM. *Lembaran publikasi minyak dan gas bumi*, 44(2), 144–153. <https://doi.org/10.29017/LPMGB.44.2.160>
- Yang, P., Chen, J., Zhang, H., & Li, S. (2022). A Fault Identification Method for Electric

- Submersible Pumps Based on DAE-SVM. *Shock and Vibration*, 2022, 1–16. <https://doi.org/10.1155/2022/5868630>
- Zhao, Y., Zhao, D., Zhong, Y., & Zhao, Y. (2021). The Viscosity of Oil Influence on the Working Characteristics of Electric Submersible Pump under Variable Speed. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 661(1), 012023. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/661/1/012023>
- Zhou, L., Wang, W., Hang, J., Shi, W., Yan, H., & Zhu, Y. (2020). Numerical Investigation of a High-Speed Electrical Submersible Pump with Different End Clearances. *Water*, 12(4), 1116. <https://doi.org/10.3390/w12041116>
- Zhu, H., Zhu, J., Rutter, R., & Zhang, H.-Q. (2019). A Numerical Study on Erosion Model Selection and Effect of Pump Type and Sand Characters in Electrical Submersible Pumps by Sandy Flow. *Journal of Energy Resources Technology*, 141(12), 122004. <https://doi.org/10.1115/1.4044941>.