

PERANCANGAN DESAIN *ELECTRIC SUBMERSIBLE PUMP* SUMUR *DIRECTIONAL* LAPANGAN SALAWATI MENGGUNAKAN *SOFTWARE* PRODUKSI

Wulan Rahmatika¹, Gerry Sasanti Nirmala^{1*}

¹Teknik Produksi Minyak dan Gas, Politeknik Energi dan Mineral Akamigas Cepu,
Jl. Gajah Mada No. 38, Mentul, Karangboyo, Kec. Cepu, Kabupaten Blora, Jawa Tengah, 58315

*E-mail: gerry.nirmala@esdm.go.id

ABSTRAK

Sumur “X” yang berada di Salawati merupakan salah satu sumur minyak tipe berarah (*Directional well*) yang saat ini memanfaatkan sistem *Electric Submersible Pump* (ESP) sebagai metode pengangkatan buatan. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan utama untuk meningkatkan efisiensi produksi sumur tersebut melalui redesain sistem ESP Dengan pendekatan berbasis simulasi kuantitatif menggunakan *Software* Produksi. studi ini melibatkan analisis performa sumur (*Well Performance*) serta pendekatan *Nodal Analysis* guna merancang konfigurasi ESP yang optimal. Fokusnya adalah meningkatkan efisiensi konsumsi energi, dan mengoptimalkan laju alir produksi. Hasil analisis *Inflow Performance Relationship* (IPR) dan *Vertical Lift Performance* (VLP) menunjukkan bahwa konfigurasi paling efektif dicapai dengan penggunaan pompa REDA MT5A-60 yang terdiri dari 222 *Stages* dan dioperasikan pada frekuensi 60 Hz. Desain ini mampu menghasilkan *Total Dynamic Head* sebesar 6.359ft dan mencapai efisiensi hidraulik sebesar 56,5%. redesain ini meningkat signifikan dibandingkan dengan pompa NBV yang hanya mencapai 47,9%. Dengan performa dan efisiensi yang lebih baik dibandingkan konfigurasi sebelumnya, REDA MT5A-60 direkomendasikan sebagai standar baru dalam pengembangan sistem *Artificial Lift* ESP di Lapangan Salawati.

Kata kunci: *Electric Submersible Pump, Directional, Nodal Analysis*

1. PENDAHULUAN

Lapangan Salawati merupakan salah satu lapangan minyak yang terletak di wilayah Kepala burung atau Papua Barat Daya yang saat ini telah dikelola oleh PT Pertamina EP Asset 4 Field Papua. Lapangan ini termasuk dalam wilayah kerja Blok Salawati yang mencakup area seluas kurang lebih 1.136,82 km². Di dalamnya terdapat beberapa zona produksi aktif, dengan Lapangan Matoa sebagai fasilitas produksi utama. Kegiatan produksi minyak di Lapangan Salawati telah dimulai sejak awal 1990-an. Hasil produksinya dialirkan dan diproses di kilang milik Pertamina, yaitu *Refinery Unit VII Kasim* yang berlokasi di Sorong, Papua Barat Daya.

Salah satu teknologi pengangkatan buatan yang paling banyak digunakan di lapangan adalah *Electric Submersible Pump* (ESP), ESP merupakan Pompa Sentrifugal bertingkat banyak, dengan tiap *Stages* terdiri dari *Impeller* dan *Diffuser*. Perencanaan ESP sangat dipengaruhi oleh produktivitas sumur dan sifat fluida yang dipengaruhi oleh kelakuan reservoir dari sumur tersebut (Tekanan reservoir, *GOR*, dan *Water cut*) [1]. Meskipun demikian, efektivitas ESP sering mengalami penurunan akibat ketidaksesuaian antara rancangan pompa dengan karakteristik fluida reservoir [2]. Berbagai jenis metode *Artificial lift* telah dikembangkan, di antaranya *Gas Lift*, *Progressive Cavity Pump* (PCP), *Jet Pump*, *Sucker Rod Pump* (SRP) dan *Electric Submersible Pump* (ESP). Di antara metode tersebut, ESP merupakan salah satu pompa yang sering digunakan karena mampu menghasilkan laju produksi tinggi dan bekerja dengan efisien pada fluida dengan kadar air tinggi (*high water cut*) [3].

Pompa benam Listrik ini bekerja dengan mengubah energi listrik menjadi energi mekanik untuk mengangkat fluida dari dalam sumur menuju atas permukaan. Sistem *Artificial lift* ini sangat efektif digunakan pada sumur-sumur yang memproduksi volume fluida dalam jumlah besar. Agar ESP dapat beroperasi secara optimal, desain sistem harus disesuaikan agar bekerja pada titik efisiensi tertinggi, sehingga mampu memaksimalkan laju produksi. Dalam merancang sistem ESP yang andal, diperlukan pemahaman yang menyeluruh terhadap karakteristik reservoir, data sumur, serta sifat fisik dari fluida yang akan diproduksi [4].

Sumur “X” yang terletak di wilayah onshore JOB Pertamina–PetroChina Salawati merupakan sumur minyak berarah (*Directional well*) yang saat ini memanfaatkan pompa ESP sebagai metode pengangkatan buatan. Seiring berjalannya waktu, performa pompa mengalami penurunan efisiensi akibat perubahan kondisi sumur dan fluida, sehingga diperlukan perancangan ulang agar sistem dapat kembali bekerja secara efisien. Evaluasi mengenai pompa ESP yang sudah terpasang, yaitu pompa tipe NBV 250 – 500 Series yang telah dihitung dan menghasilkan efisiensi sebesar 47,9 % [5].

ESP sendiri merupakan jenis pompa sentrifugal bertingkat (*Multi-Stages*) yang digerakkan oleh motor listrik yang dipasang di dasar sumur (*downhole*). Kemampuan pompa ini dalam menghasilkan tekanan tinggi menjadikannya ideal untuk mengangkat fluida dari kedalaman lebih dari 8000ft, khususnya pada lapangan-lapangan tua dengan tekanan reservoir yang rendah. Desain ESP yang optimal perlu mempertimbangkan sejumlah variabel teknis, seperti jumlah tahapan (*Stages*), frekuensi operasi, total *head*, serta efisiensi sistem pompa secara keseluruhan [6]. Faktor-faktor ini penting karena kinerja ESP sangat bergantung pada *Best Efficiency Point* (BEP) dan sifat viskositas fluida yang dipompa [7].

Pada Penelitian sebelumnya, pompa yang digunakan adalah ESP NBV 250 – 500 Series yang disesuaikan dengan ketersediaan pompa di Lapangan Salawati. Penelitian ini telah merancang kandidat pompa baru yang akan digunakan di Lapangan Salawati yaitu REDA MT5A-60 dengan efisiensi yang lebih tinggi dari pompa sebelumnya. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan optimasi ulang desain sistem ESP pada sumur *Directional* di Lapangan Salawati guna meningkatkan efisiensi energi dan laju produksi tanpa melakukan perubahan terhadap kondisi fluida maupun reservoir lapangan tersebut. Studi-studi sebelumnya membuktikan bahwa penggunaan simulasi numerik, seperti *Software Produksi*, mampu memberikan prediksi yang akurat terhadap hubungan antara tekanan dan laju alir fluida dalam sistem produksi. Optimasi dilakukan melalui *Software Produksi* dengan metode *Nodal Analysis*, untuk memperoleh kombinasi terbaik dari tipe pompa, jumlah *Stages*, dan frekuensi operasi yang paling sesuai dengan karakteristik sumur pada Lapangan Salawati.

Nodal analysis merupakan suatu metode yang digunakan untuk menentukan korelasi antara *Inflow Performance Relationship* dengan *Tubing intake*, sehingga dapat digunakan untuk menentukan laju produksi optimal yang terjadi dalam suatu sistem produksi [8]. Analisis nodal merupakan metode yang digunakan untuk menentukan laju produksi yang paling efisien dengan cara mengevaluasi titik-titik (*node*) tertentu dalam sistem produksi berdasarkan distribusi penurunan tekanan. Pendekatan ini melibatkan penggunaan persamaan matematis guna memodelkan perilaku aliran fluida yang bergerak dari reservoir menuju separator, sehingga memungkinkan identifikasi kondisi operasi optimal dalam sistem produksi minyak dan gas [9]. Penerapan analisis nodal tidak hanya berguna dalam merancang sumur baru, tetapi juga dalam proses optimasi produksi, mendesain sumur baru, memodelkan produksi, penilaian kinerja injeksi, hingga penyesuaian desain sistem ESP. [10].

Software Produksi merupakan simulator produksi yang dirancang untuk mempermudah pemodelan dan analisis sistem produksi sumur minyak dan gas. Untuk menghasilkan simulasi yang akurat, diperlukan proses *Data matching* antara data aktual lapangan dengan data input pada *Software* tersebut, sehingga model yang dibangun benar-benar mencerminkan kondisi

sumur sebenarnya [11]. Dengan kesesuaian antara data aktual dan data simulasi ini, hasil optimasi dapat digunakan sebagai acuan dalam perbaikan desain yang akan digunakan dan diharapkan dapat meningkatkan laju produksi dari sumur.

2. METODE

Metode Penelitian ini bersifat Studi literatur dengan pendekatan simulasi dan analisis nodal menggunakan *Software* Produksi. Metode ini banyak digunakan pada studi optimasi produksi untuk menentukan titik operasi ideal antara kurva *Inflow Performance Relationship* (IPR) dan *Vertical Lift Performance* (VLP) [12]. Pemilihan metode ini didasarkan pada kemampuannya dalam menggambarkan secara empiris hubungan antara tekanan dan laju aliran fluida dari zona reservoir hingga mencapai permukaan.

Metode yang digunakan dimulai dengan tahap studi literatur untuk mengumpulkan teori dan informasi yang relevan sebagai dasar penelitian. Selanjutnya dilakukan pengumpulan data terkait variabel-variabel yang diperlukan, diikuti dengan perhitungan produktivitas sumur untuk menentukan efisiensi dan kinerja sumur yang diteliti. Setelah itu, nilai *Inflow Performance Relationship* (IPR) dan *Average Oil Flow Potential* (AOFP) dihitung sebagai parameter utama dalam analisis sumur. Kemudian, dilakukan simulasi pemodelan sumur untuk memprediksi sumur di berbagai kondisi operasional, yang dilanjutkan dengan analisis menggunakan metode *Well Nodal Analysis* guna memahami interaksi antara sumur dan reservoir secara lebih detail. Terakhir, hasil simulasi dan analisis dievaluasi untuk mendapatkan kesimpulan dan rekomendasi yang akurat sebelum proses penelitian diselesaikan.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

1. Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini mengacu pada hasil studi Ahuluheluw, Massolo dan Nugraha yang menganalisis sensitivitas jumlah stage pada sumur *Directional* lapangan Salawati [5]. Data-data yang digunakan untuk redesain pompa berupa Data sumur (kedalaman sumur dan diameter ukuran tubing), Data fluida (*SG oil*, *SG gas*, *water-cut*), Data reservoir (*Static Pressure*, *Reservoir Pressure*) dan Data produksi berupa laju alir produksi.

Tabel 1. Data Sumur X [5]

Parameter	Nilai
ID Tubing	2,441 inch
OD Tubing	2,875 inch
Kedalaman Sumur	9760 ft
Datum Point	9634 ft
Pump Setting Depth (PSD)	8500 ft
SFL	1410 ft
WFL	4992 ft
Tubing Head Pressure	100 psi
Konstanta Tubing	120
API Minyak	31,4 API
SG Gas	0,869
SG Air	1
Water Cut (WC)	90,4 %
Laju Produksi Minyak	20,352 BPD
Laju Produksi Air	191,648 BPD
Laju Produksi Total	250 BPD
Pressure Reservoir	3516
Tekanan dasar sumur	1985

2. Pembuatan Model Sumur di *Software* Produksi

Model ini dibuat menggunakan *Software* Produksi, yang memanfaatkan semua data yang telah dikumpulkan sebelumnya dari lapangan Salawati. Model ini mencakup *tubular*, *completion*, *downhole equipment* dan *surface equipment* yang semuanya terhubung dalam satu jalur aliran fluida. Proses simulasi meliputi tahapan *Data matching* agar hasil numerik mewakili kondisi lapangan sesungguhnya [2] Semua parameter disimulasikan hingga keseimbangan antara kurva aliran *inflow* dan *outflow* tercapai yang menunjukkan titik operasi optimal sumur.

3. Pemasangan dan Desain ESP

Pompa dipasang pada kedalaman 8.500ft dan terhubung ke pipa dengan diameter 2,875 inci. Desain pompa diuji dengan berbagai jumlah *Stages* (200–280) dan frekuensi operasi (58–62 Hz) untuk menentukan konfigurasi yang paling efisien. Jenis pompa yang diuji meliputi

NBV 250–500 sebagai acuan dan REDA MT5A-60 sebagai kandidat pompa baru. Simulasi menghasilkan kurva kinerja yang menunjukkan efisiensi, daya, dan total *head* dari setiap konfigurasi [3]. sehingga memudahkan pemilihan desain baru yang bekerja optimal mendekati *Best Efficiency Point* (BEP).

4. Analisis (*Well Nodal Analysis*)

Setelah pemodelan lengkap, dilakukan analisis nodal untuk mengidentifikasi titik operasi optimum. Analisis dilakukan untuk menentukan titik operasi optimal antara kurva IPR dan VLP menggunakan pendekatan *Well Nodal Analysis* [4]. Analisis ini menggabungkan dua kurva utama, yakni *Inflow Performance Relationship* (IPR) yang menggambarkan kapasitas sumur dalam mengalirkan fluida ke permukaan, serta *Vertical Lift Performance* (VLP) yang merepresentasikan kinerja sistem pengangkatan fluida menuju permukaan. Titik pertemuan antara kedua kurva tersebut menjadi indikator utama yang menunjukkan kondisi operasi aktual dari pompa yang digunakan. Tujuan utama dari model ini adalah untuk memastikan bahwa titik operasi tersebut berada sedekat mungkin dengan *Best Efficiency Point* (BEP) sehingga efisiensi kerja pompa dapat dioptimalkan dan potensi kerugian energi dapat diminimalisasi.

5. Validasi dan Evaluasi Hasil

Validasi dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi terhadap data lapangan dan studi sejenis di sumur *Directional* lain. Evaluasi dilakukan dengan membandingkan hasil optimasi desain awal dengan data dari studi awal untuk memastikan peningkatan signifikan dalam efisiensi pompa, produksi, dan konsumsi energi. Validasi dilakukan dengan memeriksa *Pump curve*, *Well performance curve*, serta *Nodal Intersection Point* dalam *Software* Produksi.

3. PEMBAHASAN

A. Perhitungan *Absolute Open Flow Potential* (AOFP)

Absolute Open Flow Potential (AOFP) merupakan laju aliran minyak maksimum yang dicapai ketika tekanan dasar sumur (P_{wf}) mencapai 0 psia. Dalam metode Vogel, AOFP setara dengan laju produksi maksimum ($Q_o \max$), yang dapat ditentukan melalui analisis data pengujian sumur. Berdasarkan perhitungan yang dilakukan, nilai AOFP diperoleh sebesar 446,5 BOPD.

$$Q_o \max = \frac{Q_o \text{ test}}{\left[1 - 0.2\left(\frac{P_{wf \text{ test}}}{P_r}\right) - 0.8\left(\frac{P_{wf \text{ test}}}{P_r}\right)^2\right]} \quad (1)$$

B. Perhitungan *Inflow Performance Relationship* (IPR)

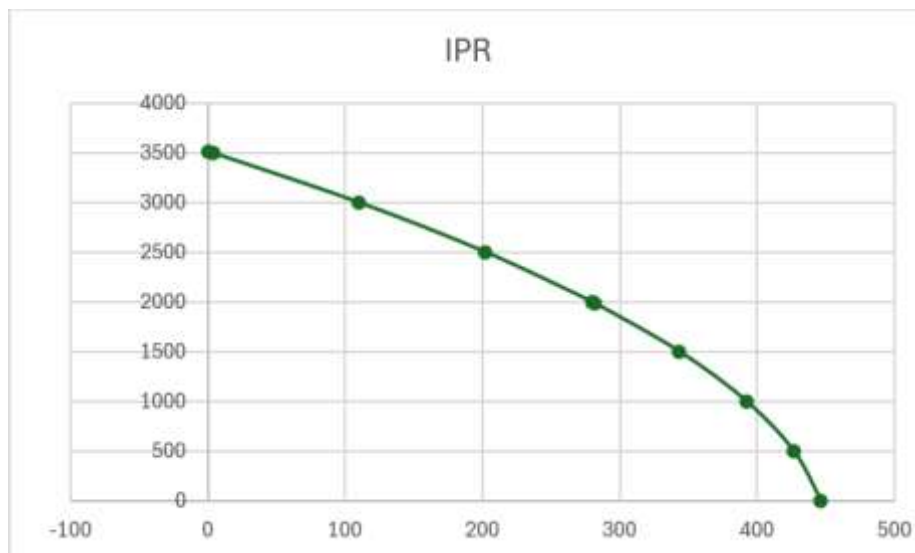
Setelah $Q_o \max$ didapatkan, IPR dapat dihitung dengan Metode Vogel.

$$Q_o = Q_o \max \left[1 - 0.2\left(\frac{P_{wf}}{P_r}\right) - 0.8\left(\frac{P_{wf}}{P_r}\right)^2\right] \quad (2)$$

Laju produksi pada tekanan dasar sumur $P_{wf} = 1985$ psi ada di sekitar 282,2 BPD, yang sangat dekat dengan target 290 BPD. Didapatkan hasil perhitungan vogel yang dilampirkan pada Table 2. Dan hasil dari perhitungan manual dengan *software* Microsoft Excel seperti yang dilampirkan pada Gambar 1.

Tabel 2. Perhitungan Vogel

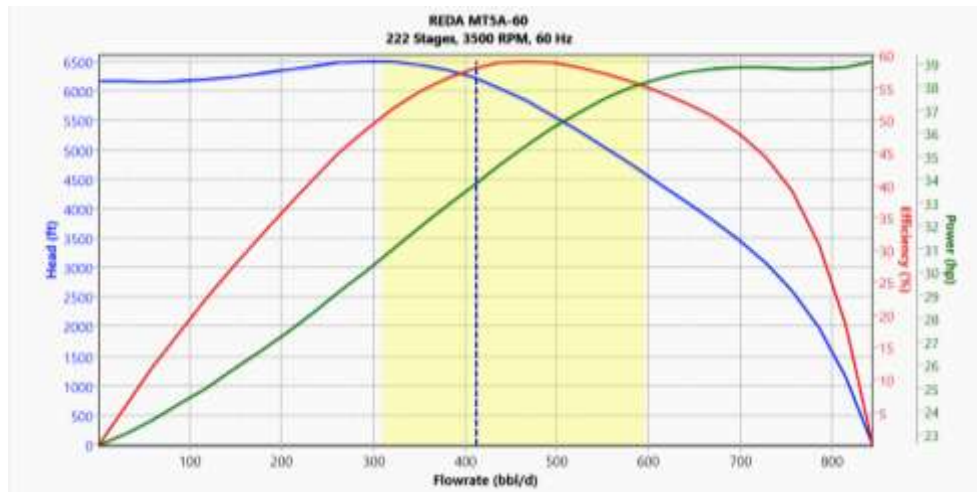
Pwf (psi)	Q (bpd)
0	446,4
500	426,5
1000	392,1
1500	343,3
1985	282,2
2000	280,0
2500	202,3
3000	110,2
3500	3,6
3516	0



Gambar 1. Kurva IPR Sumur Directional Perhitungan Manual Microsoft Excel

C. Pemasangan dan Desain ESP

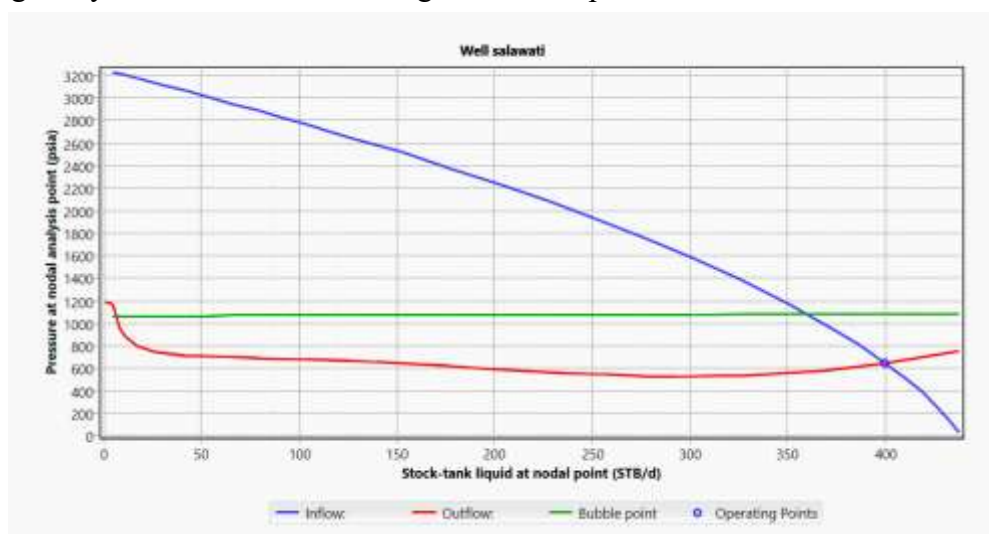
Berdasarkan hasil simulasi menggunakan *Software* Produksi, simulasi tersebut menghasilkan konfigurasi optimal menggunakan pompa REDA MT5A-60 dengan 222 *Stages* dan frekuensi 60 Hz. Pompa ini memberikan *Total Dynamic Head* sebesar 6358 ft dan efisiensi hidraulik sebesar 56,5 %, yang lebih tinggi dibandingkan pompa lama 47,9%. Gambar kurva tersebut menunjukkan bahwa pompa mencapai efisiensi kerja tertingginya pada laju produksi sekitar 400 STB/d. Titik ini bertepatan dengan *Best Efficiency Point* (BEP), yaitu kondisi optimal di mana pompa beroperasi dengan performa maksimum serta konsumsi energi yang paling efisien untuk digunakan. Pompa ini masuk dalam kapasitas optimum sumur di sekitar 357,2 bbl/d dengan operasi optimum sekitar 400bbl/d yang menandakan pompa bekerja dengan efisien dengan margin aman dari area *turndown* (debit rendah) maupun *overload* (debit tinggi).



Gambar 2. Pump Performance Curve REDA MT5A-60

D. Analisis Well Nodal

Gambar yang ada di bawah ini menampilkan hasil dari analisis nodal pada sumur Salawati, yang menjelaskan kaitan antara tekanan di titik analisis (*Nodal Point Pressure*) dengan laju alir cairan (*Stock Tank Liquid Rate*) di bagian bawah sumur. Titik potong kedua kurva tersebut menunjukkan kondisi operasi terbaik pada frekuensi 60 Hz, yang tepat berada di dekat (BEP). Dalam grafik ini, terlihat tiga kurva pokok, yakni *Inflow Performance Relationship* (IPR), *Outflow Performance Curve* (VLP), dan *Bubble Point Line*, plus satu titik operasi (*Operating Point*) yang menyatakan keadaan seimbang dari sistem produksi.



Gambar 3. Well Nodal Analysis Pompa REDA MT5A-60

Kurva biru yang merepresentasikan *Inflow Performance Relationship* (IPR) menggambarkan hubungan antara tekanan dasar sumur (*bottomhole pressure*) dengan laju produksi fluida (*flow rate*) yang diukur dalam satuan STB/d. Bentuk kurva ini sangat dipengaruhi oleh nilai *Absolute Open Flow Potential* (AOFP), yang merupakan laju produksi maksimum teoritis jika sumur mengalir bebas tanpa hambatan. Dari hasil simulasi, laju produksi maksimum yang realistis diperkirakan berada di kisaran 400 STB/d, yang ditandai dengan titik potong antara kurva IPR dan kurva VLP.

Kurva Merah (VLP) menampilkan total kehilangan tekanan yang dialami fluida saat naik dari dasar sumur ke permukaan. Tekanan awalnya tinggi pada laju rendah karena dominasi efek kolom fluida dan tekanan statis, kemudian menurun di tengah hingga mencapai titik terendah sekitar 300–350 STB/d, lalu naik lagi akibat efek gesekan (*Friction losses*) dan turbulensi di dalam tubing serta peralatan pompa. Bagian terendah kurva VLP menunjukkan kondisi efisiensi aliran tertinggi dalam sistem produksi.

Garis hijau horizontal menunjukkan tekanan *bubble point* reservoir, yaitu batas di mana gas mulai terpisah dari minyak. Dalam simulasi ini, tekanan *bubble point* adalah sekitar 1100 psia. Pada kondisi operasi saat ini, titik operasi berada di bawah garis tekanan *bubble point*, yang mengindikasikan kemungkinan terjadinya pelepasan gas bebas di sekitar area intake pompa. Fenomena ini menunjukkan bahwa sebagian dari fluida yang masuk ke pompa mungkin mengandung gas bebas.

Titik biru adalah titik keseimbangan di mana kapasitas reservoir (*inflow*) seimbang dengan kapasitas sistem permukaan (*outflow*). Pada titik ini, fluida yang diproduksi oleh reservoir sama dengan laju yang dapat diangkat oleh sistem pompa ESP. Untuk sumur Salawati, titik operasi berada pada Q_o sebesar ± 400 STB/d. Kondisi ini menunjukkan bahwa sistem beroperasi secara optimal pada frekuensi 60 Hz dengan pompa REDA MT5A-60, sesuai dengan *Best Efficiency Point* (BEP) pada kurva kinerja pompa.

E. Perbandingan dengan Desain sebelumnya

Tabel 2. Perbandingan Desain

Parameter	Desain Awal	Desain Baru
Tipe Pompa	NBV 250 - 500	REDA MT5A - 60
Stages	270	222
Frekuensi (Hz)	60 Hz	60 Hz
Q_o (BPD)	300 BPD	400 BPD
Efisiensi Pompa (%)	47,9 %	56,5 %
Daya (HP)	34,5 HP	32,8 HP

F. Validasi dan Evaluasi ESP

Validasi adalah tahap terakhir, memastikan hasil simulasi desain ESP dengan model REDA MT5A-60 sesuai dengan kondisi lapangan Salawati. Berdasarkan hasil simulasi *Software Produksi*, efisiensi pompa naik dari 47,9 % (NBV) menjadi 56,5 % sekitar 6358 ft *Total Dynamic Head*. Dengan kenaikan efisiensi tersebut, hal ini mengindikasikan bahwa 222 *Stages* sesuai dengan kinerjanya pada 60 Hz.

Tekanan *intake* (sekitar 651 psia) dan *discharge* (sekitar 3309 psia) menunjukkan Nilai ini di bawah *bubble point* 1,100 psia, jadi akan ada gas bebas di intake sehingga wajib ada gas handler atau separator dan menjaga operasi agar tidak terjadi gas-lock.

Jika mengacu pada produktivitas sumur “X”, secara teoritis dimungkinkan untuk menggantinya dengan pompa berkapasitas lebih besar guna meningkatkan laju produksi. Namun, dalam praktik lapangan, keputusan ini umumnya juga mempertimbangkan kebijakan manajemen terkait efisiensi biaya. Data yang digunakan dalam simulasi ini merujuk pada hasil studi Ahuluheluw dkk [5]. Namun, tetap diperlukan evaluasi kondisi sumur saat ini, karena perubahan tekanan reservoir, *Water cut*, dan viskositas fluida dapat memengaruhi kinerja

pompa dan keseimbangan sistem IPR-VLP. Oleh karena itu, diperlukan pengukuran ulang parameter reservoir secara berkala.

4. SIMPULAN

Electric Submersible Pump (ESP) merupakan salah satu metode *Artificial lift* yang banyak digunakan untuk meningkatkan produksi minyak bumi, khususnya pada sumur dengan laju produksi menengah hingga tinggi dan kandungan air yang banyak. Penelitian ini Menganalisis dan mengoptimalkan desain ESP untuk mendapatkan tipe pompa, jumlah *Stages*, dan frekuensi operasi yang paling efisien, stabil, dan sesuai dengan kondisi aktual sumur. Metode Optimasi yang dilakukan melalui simulasi *Software* Produksi dengan pendekatan *Well performance* dan *Nodal analysis*, menggunakan data tekanan dan karakteristik fluida lapangan sehingga Hasil Desain ESP Optimal adalah REDA MT5A-60 dengan 222 *Stages* dan frekuensi 60 Hz. Peningkatan Performa Laju Alir Produksi hingga 400 STB/d Dimana efisiensi hidraulik yang meningkat lumayan signifikan menjadi 56,5 % dari 47,9 % dan *Total Dynamic Head* Meningkat dari 5900 ft menjadi 6358 ft. Pompa REDA MT5A-60 membuktikan peningkatan signifikan dalam efisiensi, stabilitas, dan produksi dibandingkan pompa NBV. Desain REDA MT5A-60 direkomendasikan sebagai referensi standar untuk penggantian atau pengembangan pompa ESP pada sumur-sumur serupa di Lapangan Salawati dengan mempertimbangkan berbagai aspek keekonomian.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Putri D. Jayanti, Sudibyo Rachmat, and Sulustiyanto Djoko, “Juyanti 170944-ID-evaluasi-dan-optimasi-pompa-electric-sub,” *Semin. Nas. cendikiawan*, p. 379, 2015.
- [2] X. Sui, G. Han, X. Lu, Z. Xing, and X. Liang, “Energy Consumption Prediction and Optimization of the Electrical Submersible Pump Well System Based on the DA-RNN Algorithm,” *Processes*, vol. 13, no. 1, Jan. 2025, doi: 10.3390/pr13010128.
- [3] S. AlBallam, H. Karami, and D. Devegowda, “A Data-Based Reliability Analysis of ESP Failures in Oil Production Wells,” *J. Energy Power Technol.*, vol. 04, no. 04, pp. 1–29, Nov. 2022, doi: 10.21926/jept.2204036.
- [4] M. A. Yandra, D. Sulistyanto, and D. A. Wibowo, “Analisis Pengaruh Gas Oil Ratio Terhadap Head Degradtion Pada Sumur Electrical Submersible Pump,” *PETROJurnal Ilm. Tek. Perminyakan*, vol. 10, no. 4, pp. 218–224, 2022, doi: 10.25105/petro.v10i4.7738.
- [5] J. Ahuluheluw, L. D. Massolo, and P. Nugraha, “Sensitivitas Jumlah Stages Pada Desain ESP Sumur Directional” X” Lapangan Salawati,” *J. Penelit. Tambang*, vol. 3, no. 1, pp. 14–19, 2020.
- [6] A. Petrochenkov *et al.*, “Improving the Energy Efficiency of an Electric Submersible Pump Installation Using an Integrated Logistics Support Approach,” *Sustain.*, vol. 15, no. 15, Aug. 2023, doi: 10.3390/su151511845.
- [7] A. Kerunwa, J. U. Obibuike, N. U. Okereke, S. G. Udeagbara, A. N. Nwachukwu, and S. T. Ekwueme, “Evaluation of Electrical Submersible Pump on Field Production Network Optimization in Niger Delta Oilfield,” *Open J. Yangtze Oil Gas*, vol. 07, no. 01, pp. 26–47, 2022, doi: 10.4236/ojogas.2022.71003.
- [8] G. Hermadi, “Analisa sistem nodal dalam metode articial lift,” *Forum Teknol.*, vol. 06, no. 2, pp. 1–8, 2016.
- [9] A. Musnal and R. Melisa, “Perhitungan Analisis Sistem Nodal Untuk Menentukan Laju Alir Minyak Dengan Meningkatkan Range Efisiensi Electric Submercible Pump Pada Sumur di Lapangan Minyak PT. BOB. BSP - Pertamina Hulu,” *J. Earth Energy Eng.*, vol. 5, no. 1, pp. 42–51, 2016, doi: 10.22549/jeee.v5i1.460.
- [10] G. J. Duncan, S. A. Young, and P. E. Moseley, “Nodal analysis for SAGD production wells with gas lift,” *Soc. Pet. Eng. - SPE Canada Heavy Oil Tech. Conf. 2015, CHOC 2015*, no. ref 1, pp.

874–890, 2015, doi: 10.2118/174521-ms.

- [11] D. Amalia Ramadhanty, D. Sulistyanto, and R. H. Karyadi Oetomo, “Evaluasi Dan Optimasi Sumur Gas Lift Dengan Mendesain Ulang Pada Sumur Da-011,” *PETRO J. Ilm. Tek. Perminyakan*, vol. 12, no. 1, pp. 57–69, 2023, doi: 10.25105/petro.v12i1.16121.
- [12] J. Iranzi, H. Son, Y. Lee, and J. Wang, “A Nodal Analysis Based Monitoring of an Electric Submersible Pump Operation in Multiphase Flow,” *Appl. Sci.*, vol. 12, no. 6, Mar. 2022, doi: 10.3390/app12062825.

Daftar Simbol

Pr = Tekanan Reservoir
Pwf = Tekanan alir dasar sumur