

EVALUASI KINERJA *ELECTRIC SUMBERSIBLE PUMP* (ESP) PADA SUMUR LAN MENGGUNAKAN NODAL ANALYSIS

Kaisar Abhista^{1*}, Diyah Rosiani¹, Ariv Wicaksono²

¹Teknik Produksi Migas, Politeknik Energi dan Mineral Akamigas, Jl Gajah Mada No.38, Cepu, 58315

²Pertamina EP Jatibarang Field, Jl. Raya Mundu, Kabupaten Indramayu, Jawa Barat 45283

*E-mail abhistaa31@gmail.com

ABSTRAK

Penurunan kinerja sistem Electric Submersible Pump (ESP) sering terjadi akibat perubahan kondisi reservoir, peningkatan *water cut*, dan penurunan tekanan produksi, sehingga perlu dilakukan evaluasi untuk mengetahui sejauh mana sistem masih bekerja secara optimal. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja ESP pada sumur LAN dengan membandingkan performa pompa lama dan desain ESP baru hasil optimasi menggunakan perangkat lunak melalui metode Nodal Analysis untuk menganalisis hubungan antara kemampuan alir reservoir (*Inflow Performance Relationship/IPR*) dan sistem produksi (*Vertical Lift Performance/VLP*). Berdasarkan hasil simulasi, ESP lama menghasilkan laju produksi sebesar 2086 STB/day, namun efisiensinya menurun akibat penurunan tekanan reservoir dan peningkatan *water cut*. Setelah dilakukan pemodelan ulang dengan penyesuaian frekuensi, jumlah *stage*, dan kedalaman pompa, ESP baru mampu meningkatkan laju produksi menjadi sekitar 2400 STB/day dengan tekanan dasar sumur yang lebih stabil dan efisiensi energi yang lebih baik. Hasil evaluasi ini menunjukkan bahwa pembaruan desain dan optimasi parameter operasi ESP secara berkala penting dilakukan untuk menyesuaikan sistem dengan kondisi reservoir yang terus berubah. Secara keseluruhan, desain ESP baru terbukti lebih efektif dan efisien dibandingkan sistem sebelumnya, sehingga mampu meningkatkan produktivitas sumur LAN secara signifikan.

Kata kunci: *Electric Submersible Pump* (ESP), Evaluasi Kinerja, Nodal Analysis, Optimasi Produksi

1. PENDAHULUAN

Kemampuan suatu sumur untuk mengalirkan fluida ke permukaan sangat dipengaruhi oleh tekanan reservoir. Tekanan ini secara alami akan menurun seiring waktu akibat proses produksi yang berkelanjutan, fenomena yang dikenal sebagai deplesi reservoir [1]. Ketika energi formasi tidak lagi mencukupi untuk mendorong fluida menuju permukaan, sistem pengangkatan buatan (*artificial lift*) diperlukan untuk mempertahankan laju produksi minyak dan gas [2].

Berbagai jenis sistem pengangkatan buatan telah digunakan di industri perminyakan, seperti gas lift, sucker rod pump, hydraulic pump, dan Electric Submersible Pump (ESP) [3]. Di antara sistem tersebut, ESP merupakan teknologi yang paling banyak diterapkan karena memiliki efisiensi tinggi dalam mengalirkan fluida dalam volume besar, terutama pada sumur dengan kedalaman signifikan dan tekanan reservoir rendah [4]. Sistem ESP menggunakan motor listrik yang ditempatkan di dalam sumur untuk menggerakkan rangkaian impeller dan diffuser yang bekerja meningkatkan tekanan fluida secara bertahap hingga mencapai permukaan [5].

Kinerja sistem ESP sangat dipengaruhi oleh kondisi reservoir dan parameter operasi yang diterapkan, seperti tekanan dasar sumur, frekuensi kerja pompa, dan karakteristik fluida. Perubahan kondisi reservoir, seperti peningkatan *water cut*, penurunan tekanan, serta keausan komponen mekanis, sering kali menyebabkan sistem ESP tidak lagi beroperasi pada titik efi-

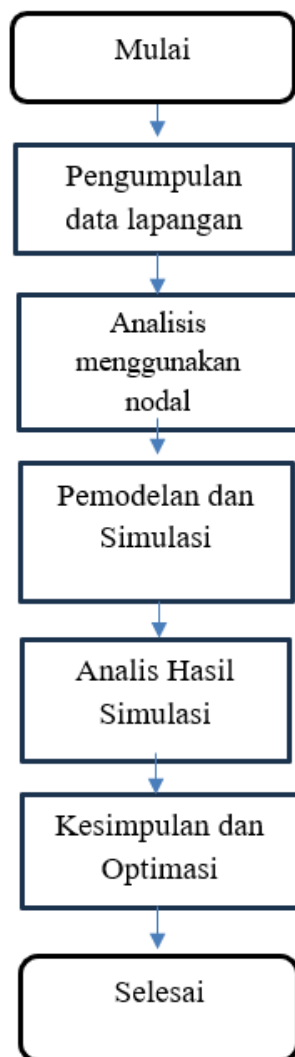
siensi optimal [6]. Ketika hal ini terjadi, laju produksi menurun dan konsumsi energi meningkat, sehingga perlu dilakukan evaluasi dan optimasi kinerja sistem ESP secara berkala [7].

Penelitian ini difokuskan untuk mengevaluasi kinerja ESP pada sumur LAN dengan menggunakan metode Nodal Analysis berbasis perangkat lunak. Perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini, sehingga penggunaannya valid untuk kegiatan penelitian dan pengembangan sistem produksi [8]. ESP yang saat ini beroperasi di sumur LAN adalah tipe REDA DN1800, sedangkan pompa pengganti hasil dari proses optimasi adalah tipe REDA D1050N. Pemilihan tipe pompa pengganti didasarkan pada kesesuaian karakteristik pompa terhadap kondisi reservoir terkini, dengan mempertimbangkan laju alir optimal, efisiensi energi, serta kestabilan tekanan dasar sumur [9]. Pompa REDA D1050N memiliki desain impeller yang lebih efisien dan mampu mempertahankan kapasitas alir yang stabil pada kondisi tekanan rendah, sehingga lebih sesuai untuk mendukung operasi jangka panjang di sumur LAN [10].

2. METODE

Diagram alir berikut menggambarkan secara menyeluruh tahapan penelitian yang dilakukan dalam mengevaluasi kinerja sistem Electric Submersible Pump (ESP) pada sumur LAN. Proses penelitian dimulai dari tahap pengumpulan data lapangan yang meliputi data tekanan reservoir, laju produksi, serta parameter operasi ESP eksisting. Data tersebut kemudian dianalisis untuk menilai performa sistem lama sebelum dilakukan pemodelan dan simulasi menggunakan perangkat lunak melalui metode Nodal Analysis. Tahap simulasi ini berfungsi untuk mengidentifikasi hubungan antara kemampuan reservoir dalam menyalurkan fluida ke dasar sumur (*Inflow Performance Relationship/IPR*) dan kemampuan sistem ESP dalam mengangkat fluida ke permukaan (*Vertical Lift Performance/VLP*). Diagram ini juga memperlihatkan bagaimana setiap tahapan penelitian saling berkaitan dalam menghasilkan model yang akurat, mulai dari akuisisi data, validasi hasil simulasi, hingga tahap akhir berupa optimasi desain pompa. Pemahaman menyeluruh terhadap interaksi antara IPR dan VLP menjadi dasar penting dalam merancang sistem pengangkatan buatan yang efisien, stabil, dan mampu mempertahankan kinerja produksi minyak dalam jangka panjang meskipun terjadi penurunan tekanan reservoir.

Diagram alir di atas menunjukkan tahapan penelitian dalam mengevaluasi kinerja sistem *Electric Submersible Pump* (ESP) pada sumur LAN. Proses dimulai dengan pengumpulan data lapangan yang mencakup data reservoir, data produksi, serta parameter operasi ESP lama. Data tersebut kemudian dianalisis untuk menilai performa pompa lama, seperti efisiensi hidrolis, tekanan kerja, dan kestabilan produksi. Setelah itu dilakukan pemodelan dan simulasi di software untuk mengetahui kondisi operasi optimal dan memprediksi peningkatan kinerja sistem ESP baru. Hasil simulasi dibandingkan dengan data aktual ESP lama guna melihat sejauh mana peningkatan efisiensi dan kapasitas produksi dapat dicapai. Tahap akhir meliputi penarikan kesimpulan dan pemberian rekomendasi teknis agar sistem ESP dapat beroperasi secara lebih efisien dan stabil dalam jangka panjang.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian Evaluasi Kinerja ESP

A. Penjelasan Mengenai data Sumur

Tabel 1 menunjukkan parameter produksi aktual pada sumur LAN. Laju produksi minyak tercatat sebesar 500 bbl/d, disertai produksi gas sebesar 300 MMSCF/d dan produksi air mencapai 100 bbl/d. Nilai Absolute Open Flow Potential (AOFP) sebesar 1168,3 STB/d menggambarkan potensi maksimal aliran sumur apabila tidak terdapat batasan tekanan, sehingga dapat digunakan sebagai acuan dalam menilai kapasitas produksi optimum sumur.

Tabel 2 menunjukkan kondisi reservoir dan karakteristik fluida yang mengalir pada sumur LAN. Tekanan reservoir berada pada 862 psi, dengan kondisi flowing well pressure sebesar 573 psi, menunjukkan adanya penurunan tekanan akibat produksi. Komposisi fluida dalam reservoir didominasi gas sebesar 70%, diikuti minyak 30%, dan air 20%. Suhu dasar sumur atau Bottom Hole Temperature tercatat mencapai 190°F, yang menjadi parameter penting dalam penentuan desain ESP dan evaluasi performa produksi.

Tabel 1. Data Produksi

Parameter	Nilai	Satuan
Produksi Minyak	500	bbl/d
Produksi Gas	300	MMSCF/d
Produksi Air	100	bbl/d
AOFP	1168,3	STB/d

Tabel 2. Data Reservoir

Parameter	Nilai	Satuan
Tekanan Reservoir	862	psi
Fraksi Air Reservoir	20	%
Pressure well flowwing	573	Psi
Fraksi Gas Reservoir	70	%
Fraksi Minyak Reservoir	30	%
Bottom Hole Temperature	190	°F

Tabel 3. Data Profil Sumur

Parameter	Nilai	Satuan
Nama Sumur	LAN	-
Kedalaman Sumur	2411	ft
Diameter Casing	9.625	In
Diameter Tubing	4	In
Roughness Casing	0.001	In
Roughness Tubing	0.001	in

Tabel 3 memuat informasi dasar sumur LAN yang digunakan sebagai referensi dalam perhitungan dan desain ESP. Sumur memiliki kedalaman 2411 ft dengan ukuran casing 9.625 inci dan tubing 4 inci, yang menjadi acuan kapasitas aliran fluida di dalam sumur. Nilai *roughness* pada casing dan tubing masing-masing 0.001 inci, menunjukkan kondisi permukaan internal pipa yang relatif halus, sehingga mendukung aliran fluida yang lebih stabil selama produksi berlangsung

Tabel 4. Data ESP Lama

Parameter	Nilai	Satuan
Model ESP	REDA DN1800	-
Diameter	4	In
Min. Flow Rate	1200	bbl/d
Max. Flow Rate	2400	bbl/d
Operating Frequency	60	Hz
Operating Speed	3499.992	rpm

Tabel 4 berisi spesifikasi teknis ESP lama yang digunakan pada sumur LAN. Model yang terpasang adalah REDA DN1800 dengan diameter 4 inci. Pompa memiliki rentang laju operasi antara 1200–2400 bbl/d, dengan frekuensi kerja 60 Hz dan kecepatan operasi mencapai 3499.992 rpm. Parameter ini menjadi dasar evaluasi performa dan dibandingkan dengan desain ESP baru pada tahap optimasi.

Tabel 5 menunjukkan spesifikasi teknis ESP baru dengan model REDA D1050N yang digunakan sebagai hasil optimasi desain. ESP ini memiliki diameter 4 inci, dengan kapasitas aliran minimum 300 bbl/d dan maksimum mencapai 1650 bbl/d, menjadikannya lebih sesuai dengan kondisi produksi aktual sumur. Frekuensi operasi berada pada 60 Hz dengan kecepatan putaran pompa 3499.992 rpm, sehingga memberikan performa yang stabil dan efisien selama proses produksi berlangsung.

Tabel 5. Data ESP Baru

Parameter	Nilai	Satuan
Model ESP	REDA D1050N	-
Diameter	4	In
Min. Flow Rate	300	bbl/d
Max. Flow Rate	1650	bbl/d
Operating Frequency	60	Hz
Operating Speed	3499.992	rpm

B. Analisis menggunakan Nodal Analysis

Dalam penelitian ini, analisis nodal digunakan untuk memeriksa keterkaitan antara kemampuan reservoir dalam menyalurkan fluida menuju dasar sumur (keterkaitan kinerja aliran/IPR) dan kemampuan sistem produksi dalam mengangkat fluida ke permukaan (kinerja angkat vertikal/VLP). Tujuan utama dari analisis ini adalah untuk menemukan titik keseimbangan aliran fluida dalam sistem produksi minyak. Istilah "titik keseimbangan" mengacu pada kondisi ketika tekanan reservoir dan tekanan pada sisi permukaan mencapai keseimbangan ideal. Metode ini sangat penting karena dapat memberikan gambaran menyeluruh tentang bagaimana energi reservoir, sifat fluida, dan efisiensi sistem pengangkatan buatan berinteraksi satu sama lain. Perangkat lunak digunakan selama proses analisis; itu memodelkan dan mensimulasikan aliran fluida dari zona produktif reservoir ke kepala sumur.

Pembuatan model simulasi dimulai dengan proses pengumpulan data dan penetapan parameter sistem. Tiga kategori utama data dikumpulkan: data reservoir, data sumur, dan data sistem pengangkatan buatan. Data reservoir termasuk tipe pompa pengangkatan buatan (ESP), kecepatan putar motor, jumlah stasiun, efisiensi pompa, dan informasi tentang tekanan, temperatur, permeabilitas, viskositas, densitas fluida, dan nilai gas-oil ratio (GOR). Data sumur juga mencakup kedalaman total sumur, diameter pipa, tekanan dasar sumur (bottom hole pressure), dan konfigurasi sistem produksinya. Semua data disusun secara sistematis agar model simulasi yang dibuat sangat akurat dan dapat menggambarkan kondisi lapangan dengan baik.

Pada tahap kedua penelitian, perangkat lunak digunakan untuk membuat model sumur. Pada tahap ini, semua parameter yang telah dikumpulkan sebelumnya dimasukkan ke dalam sistem, termasuk data reservoir, sifat-sifat fluida, dan rancangan sistem produksi yang mencakup tubing, casing, dan pompa ESP. Model sumur yang dibangun terdiri dari empat

komponen utama: reservoir model, wellbore model, sistem lift buatan, dan jaringan lantai. Setelah seluruh komponen digabungkan, proses kalibrasi dilakukan untuk memastikan bahwa hasil perhitungan sesuai dengan kondisi lapangan sebenarnya. Selanjutnya, simulasi aliran fluida dilakukan untuk mengevaluasi hubungan antara tekanan dasar sumur, atau tekanan lubang bawah, dan laju produksi fluida. Hasil simulasi tersebut kemudian digunakan untuk membuat kurva hubungan kinerja aliran (IPR) dan kinerja angkat vertikal (VLP), yang merupakan dasar untuk menilai kinerja sistem produksi.

Analisis titik keseimbangan sistem produksi dan proses pembuatan kurva IPR dan VLP adalah bagian dari tahap ketiga. Kemampuan reservoir untuk menyalurkan fluida menuju dasar sumur pada berbagai kondisi tekanan reservoir dikenal sebagai kurva hubungan kinerja aliran (IPR). Sistem minyak yang tidak tersaturate menggunakan persamaan Vogel berikut untuk menjelaskan hubungan antara tekanan reservoir dan laju alir fluida.

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

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

$Q_{max} = 1168,32 \text{ STB/day}$

Selain itu, persamaan Index Produktivitas (PI) digunakan untuk mengevaluasi kemampuan suatu sumur untuk menghasilkan fluida :

$$PI = \frac{q}{(P_r - P_{wf})} \quad (3)$$

$PI = 2 \text{ STB/day/psi}$

Keterangan:

PI = Productivity Index (STB/d/psi)

q = laju produksi (STB/d)

P_r = tekanan reservoir (psia)

P_{wf} = tekanan dasar sumur (psia)

Untuk memahami bagaimana kemampuan sumur untuk mengalirkan fluida berubah seiring dengan penurunan tekanan reservoir, kami menggunakan persamaan ini, nilai kinerja indeks (PI) dapat digunakan untuk menilai kinerja sumur pada berbagai kondisi tekanan. Namun, kurva kinerja vertikal (VLP) menunjukkan jumlah tekanan yang hilang selama lintasan aliran fluida dari dasar sumur ke permukaannya. Banyak faktor yang dapat memengaruhi penurunan tekanan ini, termasuk viskositas fluida, gaya gesek dinding pipa, perubahan elevasi, dan tingkat efisiensi sistem Pompa Submersible Listrik (ESP).

Saat kurva kedua memotong, waktu yang tepat untuk beroperasi. Dalam kondisi ini, kapasitas reservoir untuk menyalurkan fluida sama dengan kapasitas sistem produksi. Laju produksi sumur dalam kondisi optimal ditampilkan di sini. Sejauh mana penurunan tekanan reservoir berdampak pada penurunan laju produksi dapat dihitung dengan menggunakan pergeseran posisi titik potong ini. Metode ini memungkinkan untuk melakukan evaluasi kinerja sistem Pompa Submersible Listrik (ESP). Selain itu, mereka dapat digunakan untuk membuat

rencana optimasi dan sistem pengangkatan buatan yang memastikan produksi minyak tetap stabil dan efisien dalam jangka panjang.

3. PEMBAHASAN

Analisis simulasi menunjukkan bahwa sistem ESP lama (REDA DN1800) mengalami penurunan efisiensi akibat menurunnya tekanan reservoir dari 862 psia menjadi 761 psia dan meningkatnya water cut hingga 20%. Nilai laju produksi ESP lama sebesar 2086 STB/day berada di bawah target desain optimal. Setelah dilakukan simulasi dan optimasi dengan pompa REDA D1050N, sistem baru menunjukkan peningkatan performa signifikan. Laju produksi meningkat menjadi 2400 STB/day, dengan tekanan dasar sumur yang lebih stabil dan kebutuhan daya listrik lebih rendah.

A. Analisa data berdasarkan PI dan IPR

Pengumpulan data lapangan dilakukan untuk mengetahui kondisi aktual sumur, mencakup tekanan statis (P_s), tekanan dasar sumur saat mengalir (P_{wf}), laju produksi (Q), temperatur, *water cut*, serta sifat-sifat fluida. Dari data tersebut, kemampuan alami sumur dalam menghasilkan fluida dapat dianalisis melalui perhitungan parameter Productivity Index (PI) berdasarkan persamaan no 3.

$$PI = \frac{600}{862-573} = 2.08 \text{ bbl/day/psi}$$

Parameter Productivity Index (PI) menggambarkan kemampuan formasi dalam menyalurkan fluida ke dasar sumur. Semakin besar nilai PI, semakin mudah fluida mengalir melalui pori-pori batuan menuju sumur produksi. Hubungan antara tekanan dasar sumur dan laju alir fluida dapat dijelaskan menggunakan model empiris Vogel (1968) yang diterapkan pada sumur minyak jenuh pada persamaan 1 & 2

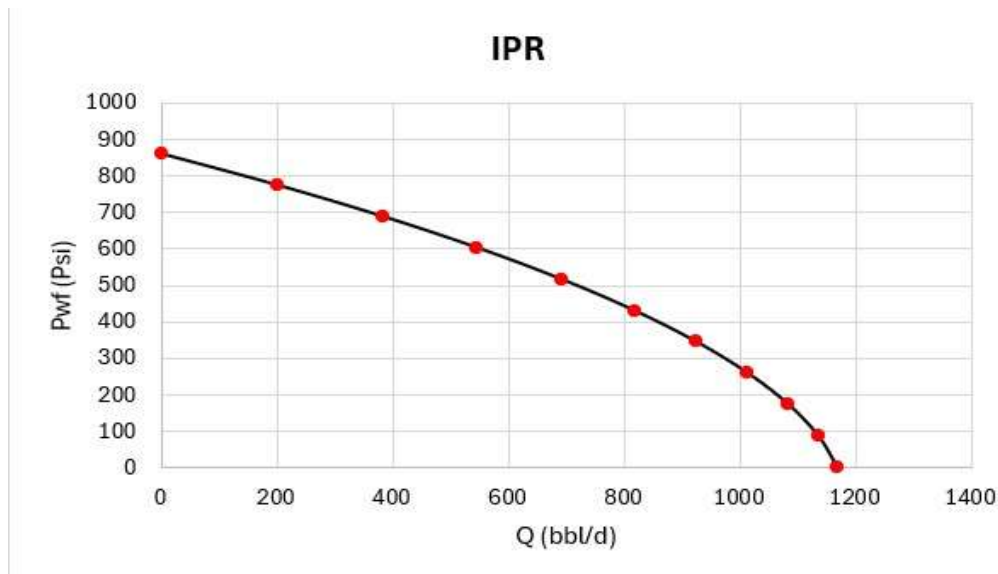
$$Q_{max} = \frac{600}{1-0.2\left(\frac{573}{862}\right)-0.8\left(\frac{573}{862}\right)^2} = 1168 \text{ bbl/day}$$

$$\frac{Q}{Q_{max}} = 1 - 0.2x - 0.8x^2 \quad \text{dengan} \quad x = \frac{P_{wf}}{P_s} \quad \Rightarrow \quad \frac{934}{1168} = 1 - 0.2x - 0.8x^2 \quad \text{dengan} \quad x = \frac{P_{wf}}{862}$$

Hubungan tersebut membentuk Inflow Performance Relationship (IPR), yang menunjukkan kemampuan sumur dalam mengalirkan fluida pada berbagai kondisi tekanan dasar sumur. Gambar 1 menunjukkan kurva Inflow Performance Relationship (IPR) untuk sumur LAN, yang menggambarkan hubungan antara tekanan dasar sumur (P_{wf}) dan laju produksi fluida (Q). Berdasarkan kurva ini, terlihat bahwa seiring meningkatnya laju produksi (Q), tekanan dasar sumur (P_{wf}) cenderung menurun. Titik operasi optimal sumur ini terletak pada keseimbangan antara laju produksi dan tekanan dasar sumur, yang tercermin pada titik potong antara kurva IPR dan kurva Vertical Lift Performance (VLP).

Pada gambar ini, dapat dilihat bahwa laju produksi maksimum (Q_{max}) tercapai pada tekanan dasar sumur yang sangat rendah, yaitu sekitar 1168 STB/d pada tekanan dasar sumur yang mendekati 0 psia. Kurva ini memberikan gambaran penting dalam mengevaluasi kapasitas reservoir untuk menyalurkan fluida ke dasar sumur pada berbagai tekanan reservoir yang

berbeda. Data ini menjadi dasar untuk analisis lebih lanjut mengenai kinerja sistem pengangkatan buatan (ESP) dan pengoptimalan laju produksi.



Gambar 1. Kurva Inflow Performance Relationship (IPR)

B. Perhitungan ESP baru

Tahap perancangan meliputi perhitungan teknis untuk menetapkan kapasitas pompa, kedalaman pemasangan, serta kebutuhan daya dan tekanan operasi. Pada sistem Electric Submersible Pump (ESP), proses desain diawali dengan menentukan Q_{design} menggunakan rumus $Q_{optimal}$:

$$Q_{optimal} = 0.8 \times Q_{max} \Rightarrow Q_{optimal} = 0.8 \times 1168 = 934 = 337.3 \text{ bbl/day}$$

Menetapkan kedalaman pemasangan pompa (Pump Setting Depth/PSD) dilakukan agar posisinya berada di bawah Dynamic Fluid Level (DFL), sehingga pompa tetap terendam sepenuhnya dan terhindar dari risiko gas lock :

$$PSD = \text{Mid Perforasi} - 100 \text{ ft} \Rightarrow PSD = 2389 - 100 \text{ ft} = 2289 \text{ ft}$$

Gradien Fluida (GF) merupakan faktor konversi yang digunakan untuk mengubah tekanan fluida dari satuan psi menjadi head fluida dalam satuan kaki, dengan mempertimbangkan berat jenis campuran fluida minyak dan air :

$$GF = 0.433 \times SG_{air} \times \frac{WC}{100} + 0.898 \times \left(1 - \frac{WC}{100}\right)$$

$$GF = 0.433 \times 1.005 \times \frac{46}{100} + 0.898 \times \left(1 - \frac{46}{100}\right) = 0.412$$

Selanjutnya, tekanan pada titik masuk fluida ke dalam pompa dihitung menggunakan persamaan Pump Intake Pressure (PIP) :

$$PIP = P_{wf} - GF \times (\text{Mid Perforasi} - PSD)$$

$$PIP = 337 - 0.412 \times (2389 - 2289) = 295.8 \text{ psi}$$

Perhitungan kehilangan energi akibat gesekan fluida sepanjang pipa dilakukan dengan menggunakan persamaan Hazen–Williams

$$H_f = \frac{0.2083 \times (100/C)^{1.852} \times Q^{1.852}}{d^{4.8655}} \times \frac{L}{100} \Rightarrow H_f = \frac{13}{1000} \times 2289 = 29.76 \text{ ft}$$

Head akibat hambatan perbedaan elevasi dihitung sebagai berikut:

$$H_d = \frac{PSD-PIP}{GF} \Rightarrow H_d = 2289 - \frac{295.8}{0.412} = 1571 \text{ ft}$$

Head akibat hambatan tekanan kepala sumur dihitung menggunakan:

$$H_t = \frac{P_{wh}}{GF} \Rightarrow H_t = \frac{250}{0.412} = 606.7 \text{ ft}$$

Total energi yang harus dihasilkan pompa (*Total Dynamic Head*, TDH) merupakan jumlah dari semua komponen head:

$$TDH = H_f + H_d + H_t \Rightarrow TDH = 29.76 + 1571 + 606.7 = 2207.46 \text{ ft}$$

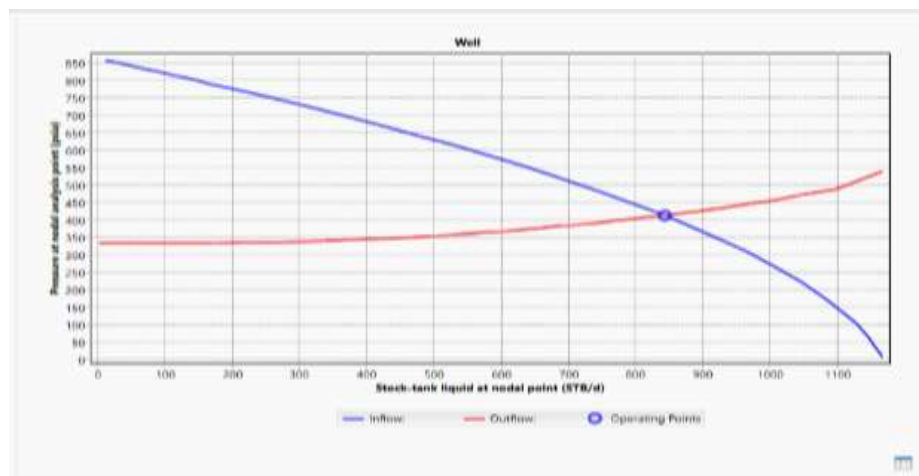
Jumlah impeller yang dibutuhkan dihitung dengan:

$$Stage = \frac{TDH}{Head_{per_stage}} \Rightarrow Stage = \frac{2207.46}{27} = 82 \text{ stage}$$

Selanjutnya, Horsepower yang dibutuhkan pompa untuk mengangkat fluida dihitung dengan

$$HP_{pump} = hp \times Stage \Rightarrow HP_{pump} = 0.27 \times 82 = 22.14 \text{ HP}$$

C. Hasil analisis menggunakan nodal analysis



Gambar 2. Kurva Nodal analysis

Gambar 2 memperlihatkan titik potong antara kurva IPR dan VLP yang menunjukkan laju produksi optimal sebesar 842 STB/day pada tekanan dasar sumur 412 psi. Hasil simulasi kemudian divalidasi dengan data aktual lapangan. Deviasi kecil antara hasil simulasi dan data nyata disebabkan oleh faktor non-linear seperti perubahan viskositas fluida, gesekan tubing, dan potensi emulsi minyak-air. Efisiensi sistem sebesar 2% diperoleh dari perbandingan antara daya hidrolik yang dihasilkan pompa terhadap daya listrik input pada kondisi operasi aktual. Nilai ini menunjukkan bahwa kondisi sumur sudah jauh dari titik efisiensi optimal dan perlu dilakukan optimasi parameter operasi seperti kecepatan putar (RPM) dan kedalaman pemasangan pompa (Pump Setting Depth) agar sistem kembali mendekati performa ideal

D. Analisis kinerja ESP lama dan ESP baru

Parameter	Desain ESP Lama	Desain ESP Baru	Satuan
Model ESP	REDA DN1800	REDA D150N	-
Diameter	4	4	In
Min. flow rate	1200	300	Bbl/d
Max. flow rate	2400	1650	Bbl/d
Operating Frequency	60	60	Hz
Operating Speed	3499.992	3499.992	rpm
Q aktual	600	842	Bbl/d

Berdasarkan data desain dan hasil operasi, ESP baru menunjukkan peningkatan performa yang jelas dibandingkan ESP lama. Q aktual meningkat dari 600 BOPD menjadi 842 BOPD, atau sekitar 40% lebih tinggi, yang menandakan adanya peningkatan produksi yang cukup signifikan. Meskipun kapasitas minimum ESP baru lebih rendah, kemampuan operasinya yang dapat mencapai hingga 1.650 BOPD menjadikannya lebih sesuai dengan kondisi dan kebutuhan sumur saat ini. Selain itu, penggunaan model REDA D150N terbukti memberikan aliran yang lebih stabil, kapasitas angkat fluida yang lebih besar, serta efisiensi kerja yang lebih baik. Dengan kombinasi peningkatan produksi dan kinerja yang lebih optimal, ESP baru dinilai lebih unggul dan lebih efektif dalam memaksimalkan potensi sumur dibandingkan desain sebelumnya

4. SIMPULAN

Penelitian ini telah berhasil mengevaluasi kinerja sistem Electric Submersible Pump (ESP) pada sumur LAN menggunakan metode Nodal Analysis dan simulasi. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa sistem ESP lama mengalami penurunan kinerja seiring perubahan tekanan reservoir dan peningkatan kadar air. Setelah dilakukan optimasi desain, sistem ESP baru mampu meningkatkan laju produksi dari 2086 STB/day menjadi 2400 STB/day dengan efisiensi yang lebih tinggi dan tekanan dasar sumur lebih stabil.

Dengan demikian, tujuan penelitian untuk mengetahui sejauh mana optimasi desain dapat meningkatkan kinerja ESP telah tercapai. Penelitian ini juga menegaskan pentingnya evaluasi berkala dan penyesuaian desain ESP terhadap kondisi reservoir untuk menjaga kestabilan produksi jangka panjang

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. K. Smith, *Introduction to Petroleum Production Systems*, 3rd ed. New York: Wiley, 2020.
- [2] Schlumberger, *ESP Design and Performance Manual*, Houston: Schlumberger Press, 2019.
- [3] G. O. Thomas, *Nodal Analysis for Oil and Gas Wells*, SPE, 2021.
- [4] M. T. Lee, "Artificial Lift Optimization in ESP Systems," *Journal of Petroleum Engineering*, vol. 45, no. 3, pp. 120–130, Apr. 2022.
- [5] Halliburton, *Electric Submersible Pumping Systems Overview*, Texas: Halliburton Energy Services, 2020.
- [6] A. R. Hasan and C. S. Kabir, "Fluid Flow and Pressure Behavior in Vertical and Deviated Wells," *SPE Production Engineering*, vol. 33, no. 2, pp. 75–82, Jun. 2019.
- [7] B. E. Brown and M. R. Economides, *Modern Production Optimization Techniques in Oil and Gas Fields*, Houston: Gulf Publishing, 2020.
- [8] R. D. Beggs, *Production Optimization Using Nodal Analysis*, Tulsa: OGCI Publications, 2018.
- [9] A. Al-Khalifa, "ESP Performance Analysis Under Declining Reservoir Pressure," *SPE Artificial Lift Conference and Exhibition*, Woodlands, TX, Oct. 2021, pp. 60–68.
- [10] Weatherford, *Artificial Lift Systems: Design and Optimization Handbook*, Houston: Weatherford International, 2022.

Daftar Simbol

A	=	Luas permukaan, m ²
P _r	=	Tekanan reservoir, psia
P _{wf}	=	Tekanan dasar sumur (<i>bottom hole pressure</i>), psia
q	=	Viskositas, Ns/m
T	=	Temperatur reservoir, °F
μ	=	Viskositas fluida, cP
ρ	=	Massa jenis fluida, lb/ft ³
H	=	Kedalaman pompa, ft
η	=	Efisiensi pompa, %
N	=	Jumlah stage pompa
f	=	Frekuensi operasi pompa, Hz
RPM	=	Kecepatan putar pompa, <i>revolutions per minute</i>
IPR	=	Inflow Performance Relationship
VLP	=	Vertical Lift Performance
ESP	=	Electric Submersible Pump