

DESAIN *ELECTRICAL SUBMERSIBLE PUMP* PADA SUMUR YZ LAPANGAN HDZ

Muhammad Hudzaifa Ramadhana Majid¹, Diyah Rosiani^{1*}, Muhammad Rijal Baihaqi¹,
Marlen Claritha Metan¹

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

*E-mail: diyahrosiani@gmail.com

ABSTRAK

Penurunan tekanan *reservoir* pada sumur minyak yang telah berproduksi lama menyebabkan penurunan kemampuan alami *reservoir* dalam mengalirkan fluida ke permukaan. Untuk mengatasi hal tersebut, digunakan sistem *artificial lift* berupa *Electrical Submersible Pump* (ESP) yang dirancang guna meningkatkan efisiensi produksi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis desain dan performa ESP berdasarkan kondisi operasi sumur menggunakan metode *Nodal Analysis*, yang menggabungkan kurva *Inflow Performance Relationship* (IPR) dan *Outflow Performance* untuk menentukan titik kerja optimum antara kemampuan *reservoir* dan sistem produksi. Berdasarkan hasil analisis, diperoleh laju produksi optimum sebesar 2012,94 STB/d pada tekanan dasar sumur 238,71 psia. Desain sistem ESP menunjukkan nilai laju produksi desain sebesar 1939,18 Bfpd, dengan *Pump Setting Depth* (PSD) 1737 ft, menggunakan pompa tipe REDA DN1800 sebanyak 79 *stage*, serta membutuhkan daya 23,7 HP dan tegangan 93,9 kVA. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem ESP bekerja secara efisien dan stabil, mampu mengalirkan fluida ke permukaan tanpa kehilangan tekanan yang signifikan. Secara keseluruhan, desain ESP yang dihasilkan telah dioptimalkan sesuai kondisi *reservoir*, sehingga dapat meningkatkan laju produksi serta memperpanjang umur operasi sumur secara ekonomis.

Kata kunci: *Electrical Submersible Pump*, REDA DN1800, *Nodal Analysis*, *Artificial Lift*, Produksi Minyak.

1. PENDAHULUAN

Lapangan minyak yang telah lama berproduksi umumnya mengalami penurunan tekanan *reservoir* yang menyebabkan berkurangnya kemampuan alami sumur untuk mengalirkan fluida ke permukaan. Kondisi ini menuntut penerapan sistem *artificial lift* agar produksi minyak dapat dipertahankan dan dioptimalkan [1], [2]. Sistem *artificial lift* berfungsi untuk meningkatkan tekanan pada dasar sumur sehingga fluida dapat terangkat ke permukaan dengan laju produksi yang sesuai dengan potensi *reservoir*.

Salah satu teknologi *artificial lift* yang banyak digunakan pada lapangan dengan tekanan rendah dan kadar air tinggi adalah *Electrical Submersible Pump* (ESP). Sistem ini menggunakan motor listrik terendam untuk menggerakkan impeller yang mengangkat fluida ke permukaan. Keunggulan ESP terletak pada kemampuannya menghasilkan laju produksi tinggi, operasi yang relatif stabil, serta efisiensi yang baik pada sumur dengan kedalaman menengah hingga besar [3].

Penentuan desain ESP yang tepat sangat penting agar sistem dapat bekerja sesuai dengan kondisi *reservoir* dan fluida yang diproduksi. Proses desain mencakup penentuan laju produksi optimum, kedalaman pemasangan pompa (*Pump Setting Depth/PSD*), jumlah *stage*, *Total Dynamic Head* (TDH), serta kebutuhan daya dan efisiensi sistem kelistrikan [1]. Selain

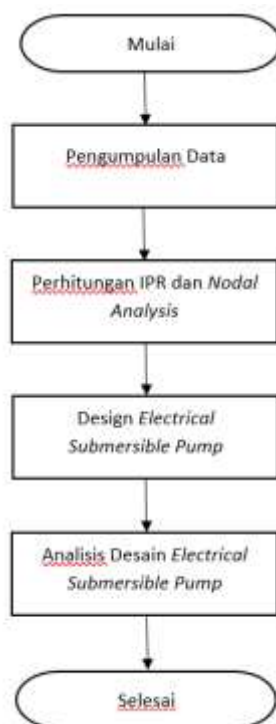
itu, pemilihan kabel dengan konduktivitas tinggi seperti kabel tembaga (No. 2 Cu) diperlukan untuk meminimalkan *voltage drop* dan memastikan motor menerima daya yang stabil [4].

Analisis performa ESP dilakukan menggunakan metode *Nodal Analysis*, yang menggabungkan kurva *Inflow Performance Relationship* (IPR) dan *Outflow Performance* untuk menentukan titik kerja optimum (*operating point*). Titik ini menggambarkan kondisi keseimbangan antara kemampuan reservoir mengalirkan fluida dan kemampuan sistem pompa mengangkat fluida ke permukaan [5]. Hasil analisis ini menjadi dasar dalam menentukan parameter desain pompa agar bekerja pada kondisi efisien dan stabil.

Selain aspek hidrodinamik, efisiensi energi juga menjadi faktor penting dalam penerapan ESP. Sistem ini membutuhkan suplai listrik yang besar, namun kehilangan energi dapat diminimalkan melalui desain sistem yang baik dan penggunaan komponen berdaya tahan tinggi. Dengan perancangan yang tepat, ESP mampu memberikan performa optimal, mengurangi risiko kegagalan operasi seperti *gas lock*, serta meningkatkan umur kerja sistem [6].

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis desain sistem *Electrical Submersible Pump* (ESP) berdasarkan kondisi reservoir dan hasil *Nodal Analysis*. Analisis mencakup perhitungan kapasitas produksi, kebutuhan tekanan, jumlah *stage*, daya pompa, serta efisiensi sistem kelistrikan. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan pemahaman mendalam mengenai performa ESP dan menjadi acuan dalam penerapan sistem *artificial lift* yang efisien dan andal pada sumur bertekanan rendah.

2. METODE



Gambar 1. Diagram Alir

Gambar 1 menunjukkan diagram alir penelitian yang menjelaskan tahapan dalam analisis dan perancangan sistem ESP. Proses dimulai dengan pengumpulan data, yang meliputi parameter reservoir, karakteristik fluida, tekanan, temperatur, dan laju produksi sumur. Data tersebut kemudian digunakan dalam perhitungan IPR dan *Nodal Analysis* untuk menentukan titik kerja

optimum antara kemampuan reservoir mengalirkan fluida dan kemampuan sistem produksi mengangkatnya ke permukaan. Tahap berikutnya adalah perancangan ESP, yang mencakup penentuan kapasitas pompa, kedalaman pemasangan, jumlah *stage*, daya motor, dan kebutuhan energi listrik. Setelah desain ditentukan, dilakukan analisis desain ESP untuk mengevaluasi kinerja sistem berdasarkan parameter hasil perancangan, seperti efisiensi pompa, head, dan konsumsi daya. Tahapan ini memastikan bahwa konfigurasi ESP yang dirancang sesuai dengan kondisi operasi sumur dan mampu berfungsi secara optimal. Proses penelitian diakhiri dengan penarikan kesimpulan mengenai performa dan efektivitas desain ESP dalam meningkatkan produksi fluida.

A. Pengumpulan Data

Data dari sumur YZ pada lapangan HDZ didapatkan dari penulis sebelumnya [7]. Kemudian data ini digunakan seperti pada Tabel 1. Tabel 1 berisi data teknis dan karakteristik sumur YZ. Data ini mencakup tekanan reservoir sebesar 678 psi dan tekanan alir dasar sumur sebesar 619 psi. Nilai SG air sebesar 1, gas 0,6 dan minyak 85 digunakan untuk menggambarkan sifat fisik fluida serta perbandingan antarfase. Parameter water cut sebesar 89% menunjukkan dominasi air dalam fluida produksi, sedangkan GOR sebesar 103 scf/bbl menunjukkan kandungan gas relative rendah sehingga kondisi ini cocok untuk penggunaan ESP. Temperatur reservoir 115,8°F dan TVD 1835 ft dengan MD 2154 ft. interval perforasi antara 1833-1842 ft menjadi zona produktif. ID tubing 2,992 in dan nilai API minyak sebesar 38 menunjukkan karakteristik minyak ringan yang relatif mudah diangkat oleh ESP. laju produksi total 365 bpsd, dengan 85 bpsd minyak dan 325 bpsd air, menunjukkan bahwa efisiensi produksi masih dapat dioptimalkan. Tekanan kepala sumur sebesar 40 psi menunjukkan kondisi operasi di permukaan. Nilai PI sebesar 6,18 yang Dimana termasuk kategori besar sehingga fluida mampu mengalir dengan relative mudah dari pori-pori batuan menuju dasar sumur.

Tabel 1. Data Sumur [7]

Parameter	Nilai	Satuan`
Tekanan Reservoir	678	Psi
Tekanan Alir Dasar Sumur	619	Psi
SG Air	1	-
SG Gas	0,6 [8]	-
SG Minyak	85	-
Water Cut	89	%
GOR	103	Scf/bbl
Temperatur Reservoir	115,8 [9]	°F
True Vertical Depth	1835	Ft
Measure Depth	2154	Ft
ID Tubing	2,992	In
Mid Perforasi	1837	Ft
Top Perforasi	1833	Ft
Bottom Perforasi	1842	Ft
°API	38	-
Kedalaman Sumur	2155	Ft
Laju Produksi Total	365	Bpsd
Laju Produksi Minyak	85	Bpsd
Laju Produksi Air	325	bpsd
Temperatur Kepala Sumur	40 [1]	psi
Productivity Index	6,18	

B. Perhitungan IPR dan Nodal Analysis

Proses pengumpulan data lapangan dilakukan untuk memperoleh gambaran nyata mengenai kondisi operasi sumur, mencakup tekanan reservoir (P_r), tekanan alir dasar sumur (P_{wf}), laju alir fluida (Q), temperatur, kadar air (*water cut*), serta sifat-sifat fisik fluida yang dihasilkan. Dari data tersebut, dapat dianalisis dengan menggunakan metode Nodal Analysis untuk mengevaluasi kinerja sistem aliran dari reservoir hingga ke permukaan. Hubungan antara tekanan dasar sumur dan laju alir fluida juga dapat digambarkan dengan model empiris Vogel (1968) untuk sumur minyak jenuh, yaitu:

$$Q_{max} = \frac{Q_{Total}}{1 - 0.2\left(\frac{P_{wf}}{P_s}\right) - 0.8\left(\frac{P_{wf}}{P_s}\right)^2} \quad (1)$$

$$Q = Q_{max}\left(1 - 0.2\left(\frac{P_{wf}}{P_s}\right) - 0.8\left(\frac{P_{wf}}{P_s}\right)^2\right) \quad (2)$$

Hubungan ini membentuk Inflow Performance Relationship (IPR) yang menggambarkan kapasitas aliran sumur terhadap variasi tekanan dasar sumur [10]

C. Desain Electrical Submersible Pump

Tahap perancangan meliputi proses perhitungan yang bertujuan untuk menentukan kapasitas pompa, kedalaman instalasi, serta kebutuhan daya dan tekanan yang diperlukan. Pada sistem *Electrical Submersible Pump (ESP)*, proses desain diawali dengan penentuan laju produksi rancangan (Q_{design}) yang diperoleh melalui perhitungan laju produksi optimum ($Q_{optimal}$) sebagai dasar dalam menentukan spesifikasi dan konfigurasi pompa yang sesuai dengan kondisi sumur [11].

$$Q_{design} = 0.8 \times Q_{max} \quad (3)$$

$$\frac{Q}{Q_{max}} = 1 - 0.2x - 0.8x^2 \text{ dengan } x = \frac{P_{wf}}{P_s} \quad (4)$$

Penentuan kedalaman pemasangan pompa (*Pump Setting Depth* atau PSD) dilakukan dengan memastikan posisinya berada di bawah *Dynamic Fluid Level (DFL)*, sehingga pompa tetap terendam sepenuhnya dan dapat beroperasi tanpa mengalami masalah *gas lock* [11].

$$PSD = \text{Mid Perforasi} - 100 \text{ ft} \quad (5)$$

Gradien Fluida (GF), yaitu memperhitungkan berat jenis fluida campuran minyak dan air [11]:

$$GF = 0.433 \times \left(SG_{air} \times \frac{WC}{100} + 0.898 \times \left(1 - \frac{WC}{100}\right)\right) \quad (6)$$

Selanjutnya, tekanan pada titik masuk fluida ke dalam pompa ditentukan melalui perhitungan menggunakan *Pump Intake Pressure (PIP)* [11]:

$$PIP = P_{wf} - GF \times (\text{Mid Perforasi} - PSD) \quad (7)$$

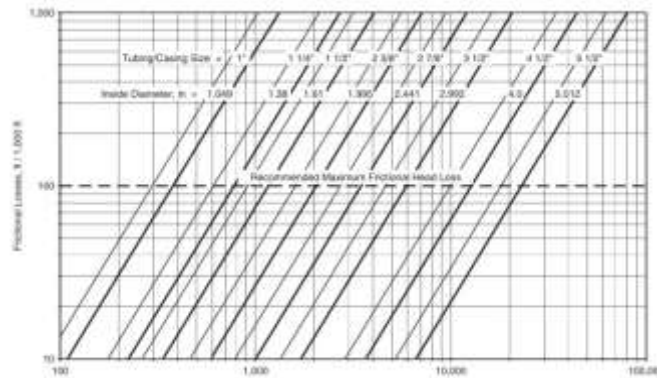
Perhitungan *head* akibat hambatan perbedaan elevasi sebagai berikut [11]:

$$H_d = PSD - \frac{PIP}{GF} \quad (8)$$

Perhitungan *head* akibat hambatan tekanan kepala sumur menggunakan [11]:

$$H_t = \frac{P_{wh}}{GF} \quad (9)$$

Untuk menghitung kehilangan energi akibat gesekan fluida pada sepanjang pipa digunakan Gambar 1 [12].



Gambar 2. *Friction Head Losses Pumping Rate* [12]

Gambar 2 menunjukkan hubungan antara *frictional head loss* dan laju alir fluida pada sistem produksi sumur. Grafik ini menggambarkan pengaruh ukuran tubing terhadap kehilangan tekanan akibat gesekan, di mana diameter tubing yang lebih kecil menghasilkan kehilangan tekanan lebih besar karena kecepatan aliran meningkat. Garis putus-putus "*Recommended Maximum Frictional Head Loss*" menandakan batas kehilangan tekanan maksimum agar sistem tetap efisien. Dengan demikian, grafik ini digunakan untuk menentukan ukuran tubing yang optimal sesuai laju produksi agar pompa bekerja efisien dan stabil.

Perhitungan *head* akibat gesekan fluida pada sepanjang pipa sebagai berikut [11]:

$$H_f = \text{Friction Loss} \times PSD \quad (10)$$

Total Dynamic Head (TDH) adalah total energi yang perlu dihasilkan oleh pompa untuk mengatasi berbagai hambatan atau komponen kehilangan tekanan sehingga fluida dapat terangkat ke permukaan, yang nilainya dapat ditentukan melalui persamaan berikut [11]:

$$TDH = H_f + H_d + H_t \quad (11)$$

Stage merupakan bagian utama pada sistem ESP yang berperan sebagai komponen pemompa atau pengangkat fluida. Setiap *stage* terdiri dari dua komponen, yaitu Impeller dan Diffuser. Impeller berfungsi meningkatkan energi kinetik fluida, sedangkan diffuser menjadi tempat aliran fluida diarahkan dan diubah menjadi energi tekanan saat impeller berputar. Jumlah *stage* yang diperlukan dapat ditentukan menggunakan perhitungan berikut [11]:

$$\text{Stage} = \frac{TDH}{\text{Head}_{\text{per stage}}} \quad (12)$$

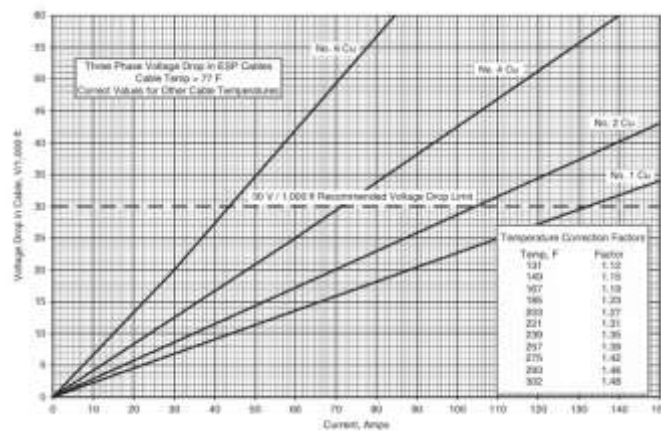
Kemudian, Horsepower yang dibutuhkan pompa untuk mengangkat fluida dihitung dengan [11]:

$$HP_{pump} = hp \times Stage \quad (13)$$

Panjang kabel listrik dihitung berdasarkan kedalaman pemasangan pompa dengan menambahkan cadangan sepanjang 100 ft untuk mencegah risiko kabel tertarik terlalu tegang hingga menyebabkan putus [11]:

$$L_{cable} = PSD + 100 \text{ ft} \quad (14)$$

Kehilangan tegangan sepanjang kabel dihitung untuk memastikan motor menerima tegangan sesuai spesifikasi kabel.



Gambar 3. *Voltage Drop* [12]

Gambar 3 menunjukkan hubungan antara arus listrik (*current*) dan penurunan tegangan (*voltage drop*) pada kabel tiga fasa sistem *Electrical Submersible Pump (ESP)*. Grafik ini digunakan untuk memperkirakan penurunan tegangan sepanjang kabel agar motor pompa menerima daya sesuai kebutuhan. Sumbu horizontal menunjukkan arus listrik (A) dan sumbu vertikal menunjukkan penurunan tegangan (V per 1.000 ft). Setiap garis mewakili ukuran kabel tembaga berbeda, di mana kabel berukuran kecil memiliki hambatan lebih tinggi dan *voltage drop* lebih besar. Garis batas 30 V/1.000 ft menandakan batas penurunan tegangan yang disarankan untuk menjaga efisiensi sistem, sedangkan tabel koreksi suhu menunjukkan pengaruh temperatur terhadap resistansi kabel. Secara keseluruhan, grafik ini digunakan untuk menentukan ukuran dan panjang kabel optimal guna menjaga efisiensi transmisi daya menuju motor ESP [12], kemudian dipakai untuk persamaan dibawah [11]:

$$\Delta V_{kabel} = (L_{cable} - 50) \times \frac{\Delta V}{1000} \quad (15)$$

$$V_{total} = V_{motor} \times \Delta V \quad (16)$$

Kapasitas *transformer* atau *generator* yang dibutuhkan untuk mengoperasikan sistem ESP ditentukan melalui perhitungan berikut [11]:

$$KVA = \frac{1.73 \times V_{total} \times I}{1000} \quad (17)$$

D. Analisis Desain *Electrical Submersible Pump*

Tahapan analisis desain ini dilakukan untuk memastikan bahwa sistem ESP yang dipasang dapat beroperasi dengan optimal dan efisien. Analisis dilakukan dengan melihat grafik dari hasil simulasi *nodal analysis* antara IPR dengan *outflow performance* untuk menunjukkan kemampuan sistem dalam mengangkat fluida.

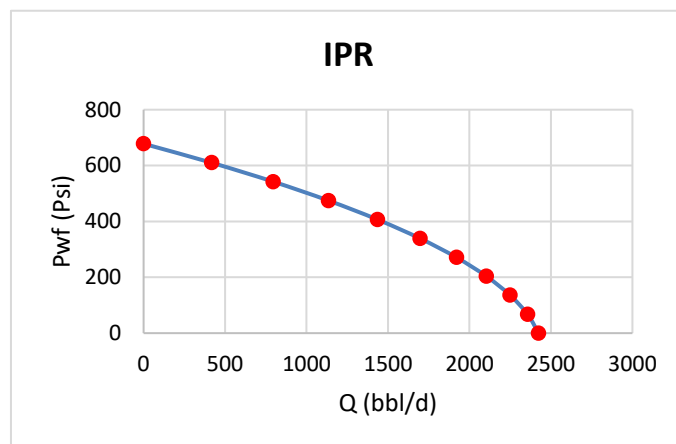
3. PEMBAHASAN

A. Perhitungan IPR dan *Nodal Analysis*

Untuk menghitung Q_{max} pada sumur YZ Lapangan HDZ menggunakan persamaan (1)

$$Q_{max} = \frac{Q_{Total}}{1 - 0.2\left(\frac{P_{wf}}{P_s}\right) - 0.8\left(\frac{P_{wf}}{P_s}\right)^2} = \frac{365}{1 - 0.2\left(\frac{619}{678}\right) - 0.8\left(\frac{619}{678}\right)^2} = 2423,97 \text{ bfpd}$$

Kurva *Inflow Performance Relationship* (IPR) diperoleh dengan memasukkan beberapa nilai tekanan dasar sumur (P_{wf}) ke dalam persamaan Vogel untuk menghasilkan pasangan data antara P_{wf} dan laju produksi (Q), yang kemudian digambarkan dalam bentuk grafik. Saat nilai P_{wf} dinaikkan sebesar 10%, rasio P_{wf}/P_s juga meningkat, menyebabkan laju produksi (Q) menurun pada setiap titik perhitungan sesuai dengan persamaan nomor 2. Hasil dari perhitungan tersebut membentuk grafik IPR seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.

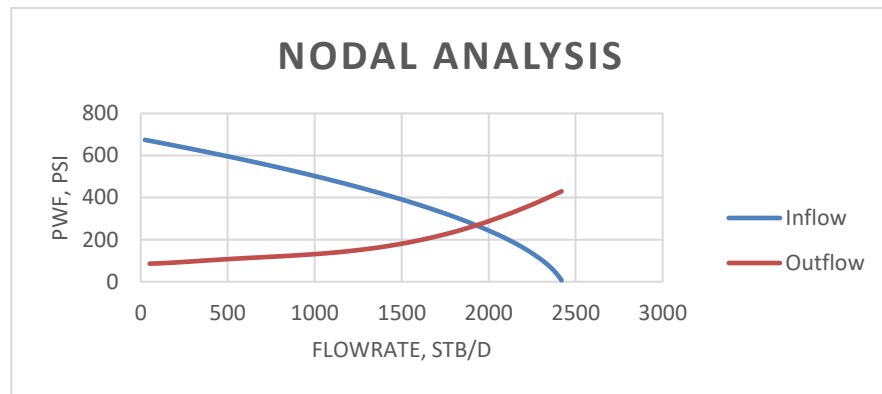


Gambar 4. Kurva *Inflow Performance Relationship*

Gambar 4 menampilkan kurva IPR yang menggambarkan hubungan antara tekanan alir dasar sumur (P_{wf}) dan laju produksi fluida (Q). Kurva berbentuk menurun secara nonlinier, menunjukkan bahwa semakin tinggi P_{wf} , laju produksi semakin kecil karena berkurangnya perbedaan tekanan antara reservoir dan dasar sumur. Sebaliknya, ketika P_{wf} mendekati nol, laju produksi mencapai nilai maksimum (Q_{max}). Dengan demikian, kurva IPR menunjukkan kemampuan reservoir mengalirkan fluida ke sumur dan menjadi dasar dalam penentuan titik kerja optimum pada analisis nodal.

Gambar 5 menunjukkan hasil *Nodal Analysis* yang memperlihatkan hubungan antara tekanan dan laju alir fluida pada sistem produksi sumur minyak. Grafik ini menampilkan dua kurva utama, yaitu *Inflow Performance Relationship* (IPR) yang merepresentasikan kemampuan reservoir dalam mengalirkan fluida ke dasar sumur, ditunjukkan oleh kurva berwarna biru, dan *Outflow Performance* yang menggambarkan tekanan yang dibutuhkan sistem produksi untuk mengangkat fluida ke permukaan, ditunjukkan oleh kurva berwarna

merah. *Outflow Performance* diperoleh dari hasil perhitungan kehilangan tekanan fluida sepanjang aliran dari dasar sumur hingga ke permukaan, yang dipengaruhi oleh diameter tubing, viskositas fluida, kedalaman pompa, dan efisiensi sistem ESP. Titik potong antara kedua kurva tersebut merupakan *operating point*, yaitu kondisi keseimbangan antara kemampuan reservoir mengalirkan fluida dan kemampuan sistem pompa mengangkatnya ke permukaan. Berdasarkan hasil perhitungan, titik kerja optimum diperoleh pada laju produksi 1939,18 bfpd dan tekanan dasar sumur 268,1 psi, yang menunjukkan bahwa sistem ESP beroperasi secara efisien pada kondisi optimum.



Gambar 5. Grafik Nodal Analysis

B. Desain Electrical Submersible Pump

Untuk menghitung laju alir desain (Q_{desain}) pada sumur YZ Lapangan HDZ dapat menggunakan persamaan (3).

$$Q_{\text{desain}} = 0.8 \times Q_{\text{max}} = 0.8 \times 2423,97 = 1939,18 \text{ bfpd}$$

Untuk menghitung tekanan laju alir dasar sumur pada pompa di sumur YZ Lapangan HDZ digunakan persamaan (4).

$$\frac{Q}{Q_{\text{max}}} = 1 - 0.2x - 0.8x^2$$

$$\frac{1939,18}{2423,97} = 1 - 0.2x - 0.8x^2$$

$$0,8 = 1 - 0.2x - 0.8x^2$$

$$x = 0,39 \Rightarrow P_{wf} = 0,39 \times 678 = 264,42 \text{ psi}$$

Untuk menghitung PSD pada sumur YZ Lapangan HDZ dapat digunakan persamaan (5).

$$\text{PSD} = \text{Mid Perforasi} - 100 \text{ ft} = 1837 - 100 \text{ ft} = 1737 \text{ ft}$$

Untuk menghitung GF pada sumur YZ Lapangan HDZ menggunakan persamaan (6).

$$\begin{aligned}
 GF &= 0.433 \times \left(SG_{air} \times \frac{WC}{100} + 0.898 \times \left(1 - \frac{WC}{100} \right) \right) \\
 &= 0.433 \times \left(1 \times \frac{89}{100} + 0.898 \times \left(1 - \frac{89}{100} \right) \right) \\
 &= 0,428
 \end{aligned}$$

Untuk menghitung PIP pada sumur YZ Lapangan HDZ dapat menggunakan persamaan (7).

$$\begin{aligned}
 PIP &= P_{wf} - GF \times (Mid \text{ Perforasi} - PSD) \\
 &= 264,42 - 0,428 \times (1837 - 1737) \\
 &= 221,62 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

untuk menghitung *head* akibat hambatan perbedaan elevasi pada sumur YZ Lapangan HDZ dapat menggunakan persamaan (8).

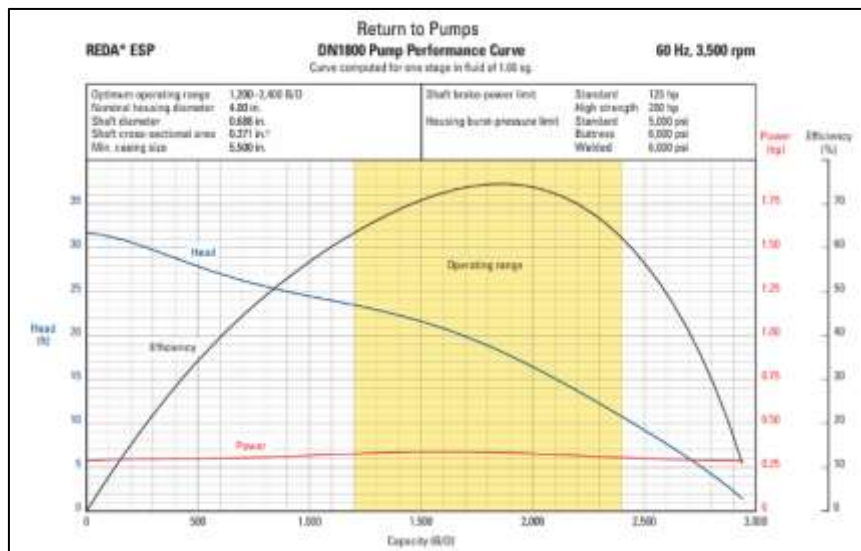
$$H_d = PSD - \frac{PIP}{GF} = 1737 - \frac{221,62}{0,428} = 1219,2 \text{ ft}$$

Untuk menghitung *head* akibat hambatan perbedaan tekanan kepala sumur pada sumur YZ Lapangan HDZ dapat menggunakan persamaan (9).

$$H_t = \frac{P_{wh}}{GF} = \frac{40}{0,428} = 93,46 \text{ ft}$$

Untuk menghitung *head* akibat gesekan fluida pada sepanjang pipa di sumur YZ Lapangan HDZ menggunakan persamaan (10).

$$H_f = Friction \text{ Loss} \times PSD = \frac{20}{1000} \times 1837 = 36,74 \text{ ft}$$



Gambar 6. Grafik *Pump Curve* [12]

Gambar 6. menunjukkan kurva performa pompa REDA DN1800 yang digunakan dalam sistem ESP, menggambarkan hubungan antara kapasitas aliran fluida dengan head, efisiensi, dan daya. Berdasarkan hasil desain, laju alir operasi pompa sebesar 1939,18 bfpd berada di dalam rentang operasi optimum, yang menunjukkan kondisi kerja paling efisien. Pada titik ini, pompa menghasilkan head sebesar 17,2 ft per stage, memiliki efisiensi sebesar 74%, dan

memerlukan daya (*horsepower*) sebesar 0,3 HP per stage. Nilai-nilai tersebut menunjukkan bahwa sistem ESP bekerja dengan performa optimal, di mana keseimbangan antara tekanan, efisiensi, dan konsumsi daya tercapai, sehingga operasi pompa berlangsung stabil, efisien, dan andal dalam mengangkat fluida ke permukaan.

Untuk menghitung TDH pada sumur YZ Lapangan HDZ digunakan persamaan (11).

$$TDH = H_f + H_d + H_t = 36,74 + 1219,2 + 93,46 = 1349,4 \text{ ft}$$

Untuk menghitung *stage* yang dibutuhkan ESP pada sumur YZ Lapangan HDZ dapat digunakan persamaan (12).

$$Stage = \frac{TDH}{Head_{per_stage}} = \frac{1349,4}{17,2} = 79 \text{ stage}$$

Untuk menghitung *Horsepower* yang dibutuhkan ESP pada sumur YZ Lapangan HDZ digunakan persamaan (13)

$$HP_{pump} = hp \times Stage = 0,3 \times 79 = 23,7 \text{ HP}$$

Untuk menghitung panjang kabel pada ESP dapat digunakan persamaan (14). Pada perhitungan ini digunakan kabel jenis No. 2 Cu (tembaga) dengan tujuan untuk menjaga efisiensi penyaluran daya dari permukaan menuju motor ESP serta meminimalkan kehilangan energi yang disebabkan oleh resistansi pada kabel.

$$L_{cable} = PSD + 100 \text{ ft} = 1737 + 100 \text{ ft} = 1837 \text{ ft}$$

Untuk menghitung kehilangan tegangan pada ESP dapat digunakan persamaan (15).

$$\Delta V = (L_{cable} - 50) \times \frac{\Delta V}{1000} = (1837 - 50) \times \frac{19}{1000} = 3,395 \text{ v}$$

Untuk menghitung tegangan total pada ESP digunakan persamaan (16).

$$V_{total} = V_{motor} \times \Delta V = 803 \times 3,395 = 806,395 \text{ v}$$

Untuk menghitung kapasitas *transformer* atau generator pada ESP dapat menggunakan persamaan (17).

$$KVA = \frac{1,73 \times V_{total} \times I}{1000} = \frac{1,73 \times 806,395 \times 67,3}{1000} = 93,9 \text{ kVA}$$

C. Analisis Desain *Electrical Submersible Pump*

Tabel 2 dan grafik *Nodal Analysis* (Gambar 5) menunjukkan keterkaitan antara hasil desain ESP dan performa produksi sumur. Berdasarkan hasil analisis, diperoleh laju produksi optimum sebesar 1939,18 bfpd pada tekanan dasar sumur 238,71 psia, yang kemudian menjadi acuan dalam menentukan parameter desain ESP. Dari hasil perancangan, pompa ditetapkan beroperasi pada laju produksi desain 1929,2 bfpd dengan PSD sebesar 1737 ft, menggunakan pompa tipe REDA DN1800 dengan 79 *stage*. Sistem ini membutuhkan daya sebesar 23,7 HP dan tegangan 93,9 kVA untuk memastikan efisiensi pengangkatan fluida ke permukaan. Kombinasi hasil

Nodal Analysis dan desain ESP ini menunjukkan bahwa sistem telah dioptimalkan untuk bekerja pada titik operasi yang efisien, di mana keseimbangan antara kemampuan aliran reservoir dan performa pompa tercapai, sehingga dapat memaksimalkan produksi fluida secara stabil dan ekonomis

Tabel 2. Hasil Desain ESP

Parameter	Nilai	Satuan
Laju Produksi Desain	1939,18	Bfpd
PSD	1737	Ft
Jenis Pompa	REDA DN1800	-
Total Stage	79	-
HP Pompa	23,7	Volt
Voltage	93,9	kVA

4. SIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan perancangan sistem *Electrical Submersible Pump* (ESP) pada sumur penelitian, dapat disimpulkan bahwa desain yang diterapkan telah memenuhi kriteria operasi optimal sesuai dengan kondisi reservoir dan karakteristik fluida. Hasil *Nodal Analysis* menunjukkan titik kerja optimum pada laju produksi 2012,94 STB/d dengan tekanan dasar sumur 238,71 psia, yang menjadi dasar dalam penentuan parameter desain ESP. Dari hasil perancangan diperoleh laju alir produksi desain sebesar 1939,18 Bfpd dengan *Pump Setting Depth* (PSD) 1737 ft, menggunakan pompa tipe REDA DN1800 sebanyak 79 *stage*, dengan kebutuhan daya 23,7 HP dan tegangan operasi 93,9 kVA. Hasil ini menunjukkan bahwa konfigurasi ESP telah dirancang secara efisien untuk kondisi sumur bertekanan rendah, mampu mengoptimalkan aliran fluida dari reservoir ke permukaan tanpa kehilangan tekanan yang signifikan. Secara keseluruhan, desain ESP yang dihasilkan terbukti andal dalam menjaga stabilitas operasi, meningkatkan laju produksi, serta memperpanjang umur kerja sumur secara efektif dan ekonomis.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Rasako, D. Indriani, dan J. Pattikayhatu, "Evaluasi Penggantian Artificial Lift Sucker Rod Pump (SRP) Menjadi Electrical Submersible Pump (ESP) Untuk Meningkatkan Produksi Minyak Sumur S Lapangan Kawengan," *Jurnal LEMIGAS*, vol. 48, no. 1, pp. 1–11, 2024. [Online]. Available: <https://journal.lemigas.esdm.go.id/index.php/LPMGB/article/download/1615/1297/3268>
- [2] A. Putra dan M. Wibowo, "Optimasi Produksi pada Sumur RD-2 Menggunakan Metode Hybrid Artificial Lift: Electrical Submersible Pump dengan Gas Lift," *Subsurface Energy Journal*, vol. 4, no. 2, pp. 55–63, 2023. [Online]. Available: <https://subsurface.universitaspertamina.ac.id/index.php/SUBSURFACE/article/view/163>
- [3] J. Onuh, A. O. Ujile, dan E. D. Duru, "Evaluation of Electrical Submersible Pump on Field Production Network Optimization in Niger Delta Oilfield," *Open Journal of Oil and Gas*, vol. 11, no. 4, pp. 345–357, 2021. [Online]. Available: https://www.scirp.org/pdf/ojogas_2021123014593427.pdf
- [4] S. Al-Ballam, H. Karami, dan D. Devegowda, "A Data-Based Reliability Analysis of ESP Failures in Oil Production Wells," *Journal of Energy and Power Technology*, vol. 4, no. 4, 2022. DOI: 10.21926/jept.2204036. [Online]. Available: <https://www.lidsen.com/journals/jept/jept-04-04-036/jept.2204036.pdf>
- [5] A. R. Al-Zuhairi, M. A. Hossain, dan M. A. Rahman, "Nodal Analysis as a Tool for Production Optimization of Artificial Lift Systems in Oil Wells," *Energies*, vol. 16, no. 7, pp. 3241–3253,

2023. DOI: 10.3390/en16073241. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/1996-1073/16/7/3241>
- [6] H. R. Salim, A. R. Fattah, dan M. H. Mahmood, "Performance Evaluation of Electrical Submersible Pump for Oil Well Production Enhancement," *International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology (IJARET)*, vol. 11, no. 9, pp. 108–117, 2020. [Online]. Available: https://iaeme.com/MasterAdmin/Journal_uploads/IJARET/VOLUME_11_IS-SUE_9/IJARET_11_09_010.pdf
- [7] M. C. Metan, "Optimasi Kinerja *Hydraulic Pumping Unit* Pada Sumur "YZ" Lapangan PT. Pertamina EP Asset 4 Field Cepu" *Tugas Akhir*, Program Studi Teknik Produksi Minyak dan Gas, Politeknik Energi dan Mineral Akamigas Cepu, 2025.
- [8] A. S. Putra, "Evaluasi dan Optimasi *Electrical Submersible Pump (ESP)* Pada Sumur "AS-14" Di Lapangan "Putra" PT. Pertamina Asset 4" *Tugas Akhir*, Jurusan Teknik Perminyakan, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta, 2021.
- [9] V. C. Rymoza, R. Indayani, O. J. Oraplawal, A. R. Fauzzan, R. Marta, dan B. Y. Suranta, "Kinerja Progressive Cavity Pump di Sumur KWG-P 16, Lapangan Kawengan PT. Pertamina Asset 4 Cepu," *Lembaran Publikasi Minyak dan Gas Bumi (LPMGB)*, vol. 57, no. 3, pp. 117–124, Des. 2023. doi: [10.29017/LPMGB.57.3.1595](https://doi.org/10.29017/LPMGB.57.3.1595)
- [10] B. Guo, X. Liu, and X. Tan, *Petroleum Production Engineering*, 2nd ed. Houston, TX: Gulf Professional Publishing, 2017.
- [11] K. E. Brown, *The Technology of Artificial Lift*, vol. 2B. Oklahoma: PennWell Publishing Company, 1980.
- [12] G. Takács, *Electrical Submersible Pumps Manual: Desain, Operations, and Maintenance*, 2nd ed. Burlington, MA: Gulf Professional Publishing, 2016.

Daftar Simbol

QTotal	=	Laju Alir Total Fluida, bfpd
Pr	=	Tekanan Reservoir, psi
Pwf	=	Tekanan Alir Dasar Sumur, psi
Qmax	=	Laju Alir Maksimum, bfpd
Qopt	=	Laju Alir optimal, bfpd
SG	=	Specific Gravity
C	=	Koefisien Kekerasan material
d	=	Diameter, In
kVA	=	Kilo Volt Ampere, kVA
V	=	Tegangan, V
I	=	Kuat arus, A
IPR	=	Inflow Performance Relationship
PI	=	Productivity Index
ESP	=	Electrical Submersible Pump
STB	=	Stock Tank Barrel
bbl	=	Barrel
PSD	=	Pump Setting Depth
PIP	=	Pump Intake Pressure
GF	=	Gradient Fluida
TDH	=	Total Dynamic Head
HP	=	HorsePower
OD	=	Outside Diameter
ID	=	Inside Diameter