JEMSI: Jurnal Ekonomi Manajemen Sistem Informasi
E-ISSN: 2686-5238
P-ISSN: 2686-4916
https://dinastirev.org/JEMSI dinasti.info@gmail.com +62 811 7404 455
DOI: https://doi.org/10.38035/jemsi.v7i3
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Received: 13 Desember 2025 | **Revised:** 30 Desember 2025 | **Accepted:** 22 Januari 2026

Penentuan Kandidat Sumur untuk Instalasi *Electrical Submersible Pump* (ESP) *Upsizing* dengan Metode Analisis Cluster dan AHP pada Lapangan Migas JN di PT. XYZ

Afrinaldi Zulhen[1], Vita Ratnasari[2]
[1]Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia, afrinaldi.zulhen@gmail.com
[2]Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia, vita.statistikaits@gmail.com

Corresponding Author: afrinaldi.zulhen@gmail.com[1]

Abstract: *Declining production in mature oil and gas fields is a major challenge facing the upstream industry, including PT. XYZ's JN Field, which is experiencing a decline in reservoir pressure. One of the optimization strategies implemented is the Electrical Submersible Pump (ESP) Upsizing installation program, which increases pump capacity to increase production rates. However, candidate well selection is often inefficient due to limitations in systematic approaches, variations in well technical conditions, and operational constraints in the field. This study develops a data-driven decision-making model through the integration of Cluster Analysis and Analytical Hierarchy Process (AHP) methods to determine the priority of ESP Upsizing candidate wells objectively and measurably. A total of 24 wells were analyzed using the K-Means method based on technical parameters such as Qmax, GOR, SBHP, FBHP, PI, and BS&W to form well segments with similar characteristics. Furthermore, five main operational criteria, namely production targets, rig access, weather, security, and operational costs were evaluated through AHP to determine the priority level of each well. The integration of these two methods resulted in a more structured candidate mapping and recommended work sequences that support the efficiency and effectiveness of well interventions. This approach is not only relevant to the JN Field but can also be adapted for production optimization projects in other oil and gas fields with similar characteristics.*

Keywords: *Upstream Oil and Gas, Cluster Analysis, AHP, ESP Upsizing*

Abstrak: Penurunan produksi pada lapangan migas tua merupakan tantangan utama yang dihadapi industri hulu, termasuk Lapangan JN milik PT. XYZ yang mengalami penurunan tekanan *reservoir*. Salah satu strategi optimasi yang diterapkan adalah program instalasi *Electical Submersible Pump* (ESP) *Upsizing*, yaitu peningkatan kapasitas pompa untuk meningkatkan laju produksi. Namun, pemilihan sumur kandidat kerap tidak efisien akibat keterbatasan pendekatan sistematis, variasi kondisi teknis sumur, dan kendala operasional di lapangan. Penelitian ini mengembangkan model pengambilan keputusan berbasis data melalui integrase metode Analisis *Cluster* dan *analytical Hierarchy Process* (AHP) untuk menentukan prioritas sumur kandidat ESP *Upsizing* secara objektif dan terukur. Sebanyak 24 sumur dianalisis menggunakan metode *K-Means* berdasarkan parameter teknis seperti Q_{max}, GOR,

SBHP, FBHP, PI, dan BS&W untuk membentuk segmen sumur dengan karakteristik serupa. Selanjutnya, lima kriteria operasional utama, yakni target produksi, akses rig, cuaca, keamanan, dan *operational cost* dievaluasi melalui AHP untuk menentukan tingkat prioritas tiap sumur. Integrasi kedua metode ini menghasilkan pemetaan kandidat yang lebih terstruktur serta rekomendasi urutan pengerjaan yang mendukung efisiensi dan efektifitas intervensi sumur. Pendekatan ini tidak hanya relevan bagi Lapangan JN, tetapi juga dapat diadaptasi untuk proyek optimasi produksi pada lapangan migas lain dengan karakteristik serupa.

Kata Kunci: Hulu Migas, Analisis *Cluster,* AHP, ESP *Upsizing*

PENDAHULUAN

Indonesia memiliki potensi sumber daya alam yang besar, khususnya minyak bumi, yang telah dieksplorasi lebih dari 100 tahun. Namun, sumber daya yang tidak dapat diperbarui ini mengalami penurunan cadangan dari tahun ke tahun. Pada awal 2024, pasca pandemi Covid-19, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (*ESDM*) melaporkan cadangan minyak nasional hanya sebesar 2,29 miliar barrel dengan cadangan terbukti (*proven reserves*) sebesar 2,41 miliar barrel. Berdasarkan data ini, cadangan minyak nasional diperkirakan akan habis pada 2034, dengan asumsi tidak ada penemuan baru dan produksi tetap pada 576 ribu barrel per hari (*BOPD*) (Statistik Minyak dan Gas Bumi ESDM, 2024).

Selain itu, ekonomi global yang masih labil pasca pandemi memengaruhi kualitas pemboran sumur eksplorasi di Indonesia. Laporan ESDM 2024 menunjukkan rasio keberhasilan (*success rate*) pemboran sumur eksplorasi nasional naik hingga 73% pada 2022 selama pandemi, namun turun menjadi 56% pada 2023. DMH Kee et al. (2021) menekankan bahwa pandemi memaksa perusahaan minyak dan gas mengatur ulang strategi bisnis untuk bertahan melalui operasi yang efisien, termasuk dengan mengoptimalkan fasilitas produksi dan sumur lapangan marginal. Pada pertengahan 2020, SKKMIGAS mendorong KKKS untuk bekerja sama dengan penyedia teknologi melalui skema *no cure no pay* (*NCP*), yang memungkinkan tambahan produksi tanpa biaya jika teknologi gagal. Skema ini memberikan peluang bagi perusahaan teknologi untuk menguji inovasi mereka secara gratis.

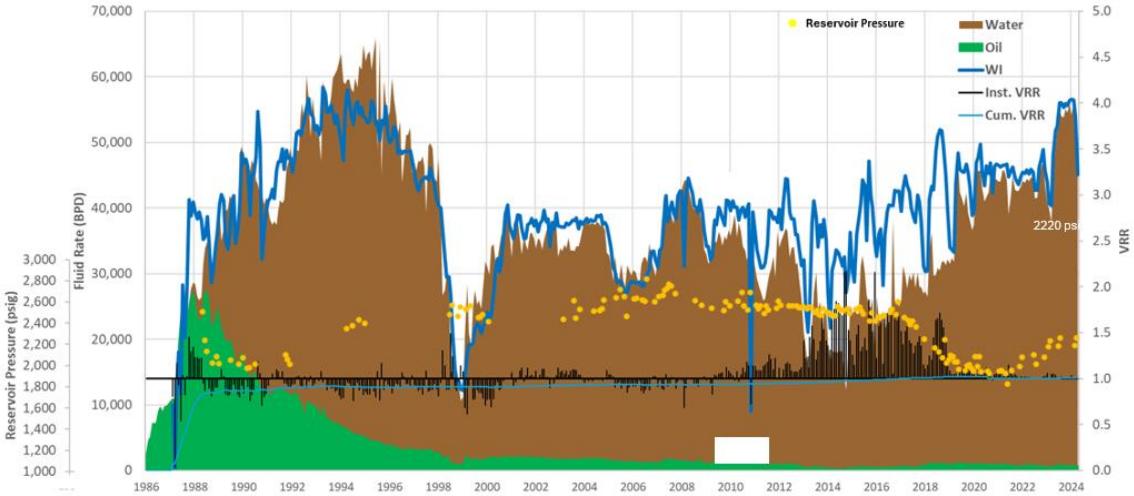
PT. XYZ, salah satu KKKS, mengambil bagian dalam skema ini dengan mengadopsi teknologi *Electrical Submersible Pump* (*ESP*) berkapasitas besar atau *ESP Upsizing*, yang diterapkan pada Lapangan Migas JN di Sumatera Selatan. Lapangan ini ditemukan pada 1985, diproduksi pertama kali pada 1986, dan pernah menjadi salah satu penemuan terbesar di Asia Timur. Lapangan JN memiliki total 64 sumur, terdiri dari 28 sumur produksi aktif, 8 sumur produksi *shut-in*, 20 sumur injeksi aktif, dan 8 sumur injeksi *shut-in*. Injeksi periferal pertama dilakukan pada 1987 untuk mempertahankan tekanan reservoir (Marja, 2024).

Produksi puncak terjadi pada 1989 sebesar 27.000 BOPD dengan bantuan *Gas Lift Valve* (*GLV*). Setelah 18 tahun menggunakan GLV, pada 2007 Lapangan JN berhasil berproduksi secara alami (*Natural Flow*, NF) berkat optimalnya sistem *water drive* dari sumur injeksi aktif dan intervensi sumur seperti *acidizing*. Pada 2014, seiring menurunnya kinerja sumur injeksi, ESP kembali dipasang sebagai artificial lift. Hingga kini, Lapangan JN mencapai sekitar 48% *recovery factor* (*RF*), menunjukkan hampir setengah total volume minyak telah diproduksi, dengan rata-rata tekanan reservoir sekitar 2200 psig. Hal ini merupakan indikator positif, karena rata-rata RF untuk lapangan minyak dengan mekanisme *water drive* bisa ditingkatkan hingga 75%.

Berdasarkan data produksi di Bulan Desember 2024 tercatat bahwa produksi minyak dari Lapangan Migas JN berada di level 747 *barrell oil per day* (BOPD) dengan rata-rata BS&W atau *Water Cut* (WC) 98.3%. Namun, mengingat RF dari lapangan ini masih di angka 48%, maka potensi untuk meningkatkan produksi minyak masih terbuka lebar. Salah satunya adalah dengan optimasi teknologi ESP *Upsizing* yang telah dimulai perencanaannya sejak

2022.

Namun, keputusan untuk melaksanakan instalasi ESP *Upsizing* tidak sederhana dan memerlukan analisis mendalam terhadap berbagai parameter teknis sumur, kondisi lapangan operasi, ketersediaan sumber daya pendukung, dan cuaca yang akhirnya mengerucut pada seberapa tinggi tingkat efisiensi yang dicapai.



Gambar 1. Grafik Produksi Lapangan Migas JN dari 1986 hingga 2024 (Data Tim *Subsurface* PT. XYZ)

Selama ini, proyek *well intervention* di PT. XYZ dilakukan tanpa skenario berbasis *data mining* dan alat pengambil keputusan yang tepat, sehingga efisiensi mobilisasi rig rendah. Grafik *Non Productive Time* (*NPT*) Rig IDECO tahun 2024 menunjukkan 38,6% NPT, di mana 24,8% berasal dari mobilisasi, yang menambah *delay* produksi dan biaya operasi.

Dalam konteks ini, *Cluster Analysis* dan *Analytical Hierarchy Process* (*AHP*) digunakan sebagai alat bantu untuk menentukan prioritas sumur dalam instalasi *ESP Upsizing*. *Cluster Analysis* mengelompokkan sumur berdasarkan karakteristik reservoir dan produksi, sedangkan *AHP* menetapkan prioritas operasional dengan mempertimbangkan kriteria seperti kemudahan akses, transportasi rig, kondisi sumur, cuaca, dan biaya. Pendekatan ini memungkinkan tim proyek memberikan opsi terbaik kepada manajemen serta keputusan yang lebih akurat dan efisien.

Penelitian ini bertujuan untuk: (1) Mengelompokkan sumur minyak menggunakan *Cluster Analysis* berdasarkan data reservoir dan produksi, (2) Menentukan prioritas pengerjaan sumur untuk instalasi *ESP Upsizing* melalui *AHP*, dan (3) Meningkatkan performa produksi minyak di Lapangan Migas JN sekaligus menjadi referensi bagi implementasi metode serupa di lapangan lain.

METODE

Metode penelitian yang digunakan dalam artikel ini mengadopsi pendekatan kuantitatif eksploratif dengan studi kasus pada Lapangan Migas JN PT. XYZ. Pendekatan ini dipilih karena fokus utama penelitian adalah mengeksplorasi, menganalisis, dan mengembangkan model berbasis data teknis sumur yang mendukung pengambilan keputusan dalam perencanaan instalasi ESP Upsizing. Penelitian ini menekankan dua metode utama, yaitu Analisis Cluster dan Analytical Hierarchy Process (AHP). Analisis Cluster digunakan untuk mengelompokkan sumur berdasarkan karakteristik teknis produksi, sehingga sumur dengan pola produksi serupa dapat dikelompokkan untuk memudahkan evaluasi performa dan perencanaan operasi. Penentuan jumlah cluster didasarkan pada kombinasi pendekatan statistik dan pertimbangan praktis sesuai domain knowledge serta pengalaman teknis di lapangan, dengan jumlah cluster ditetapkan tiga sesuai praktik umum di industri migas, yakni kategori produktivitas tinggi, sedang, dan rendah. Struktur data penelitian mencakup enam variabel teknis yang relevan untuk

ESP Upsizing, yaitu kandungan air dan sedimen dalam minyak (BS&W), Gas Oil Ratio (GOR), Static Bottom Hole Pressure (SBHP), Flowing Bottom Hole Pressure (FBHP), produksi maksimum sumur (Qmax), dan Productivity Index (PI). Variabel-variabel ini dipilih karena mewakili kondisi teknis utama sumur, datanya tersedia secara konsisten, sesuai praktik industri, dan mudah diterjemahkan menjadi rekomendasi teknis.

Proses penelitian dimulai dengan pengumpulan data historis sumur dan pemetaan karakteristik teknis ke dalam analisis Cluster non-hirarki, kemudian diverifikasi melalui diskusi teknis bersama Tim Subsurface untuk memastikan relevansi hasil dengan kondisi lapangan. Hasil clustering digunakan sebagai dasar untuk tahap selanjutnya, yakni evaluasi prioritas pengerjaan sumur menggunakan metode AHP. Struktur hirarki AHP dibangun melalui Focus Group Discussion (FGD) yang melibatkan tim teknis lapangan dan tim engineering di Jakarta, dengan penentuan tujuan, kriteria, dan alternatif sumur yang akan dievaluasi. Proses pengumpulan data dilakukan melalui wawancara dengan pihak-pihak terkait, termasuk Well Intervention Engineering Onshore Lead, Manager Base Management Asset-2, Well Maintenance Superintendent, Field Service Asset Lead, dan ESP Upsizing Project Manager, untuk memastikan setiap kriteria dievaluasi berdasarkan pengalaman dan pertimbangan teknis lapangan.

Kriteria evaluasi yang digunakan dalam AHP mencakup target produksi, akses rig, kondisi cuaca, keamanan lokasi, dan biaya operasional. Target produksi menilai seberapa besar peningkatan produksi minyak yang dapat diperoleh dari suatu sumur, sementara akses rig menilai kemudahan mobilisasi peralatan antar lokasi sumur. Kondisi cuaca menjadi faktor pertimbangan dalam perencanaan operasional untuk menghindari keterlambatan akibat hujan atau genangan, sedangkan keamanan lokasi memperhitungkan risiko sosial dan potensi gangguan. Biaya operasional mencakup durasi pengerjaan dan biaya yang dibutuhkan, termasuk efisiensi logistik jika rig harus berpindah-pindah. Penilaian kriteria dilakukan melalui kuesioner pairwise comparison berdasarkan skala intensitas kepentingan 1 hingga 9, sesuai metode yang diusulkan oleh Saaty, untuk menghasilkan bobot prioritas masing-masing kriteria.

Tahapan proses AHP mencakup penyusunan matriks perbandingan berpasangan, normalisasi matriks, perhitungan bobot kriteria dengan metode rata-rata baris, serta pemeriksaan konsistensi menggunakan Consistency Ratio. Bobot kriteria kemudian digunakan untuk menilai alternatif sumur dari hasil Analisis Cluster, sehingga diperoleh urutan prioritas pengerjaan sumur yang optimal. Seluruh perhitungan dapat dilakukan menggunakan Microsoft Excel atau perangkat lunak khusus seperti Expert Choice, Super Decisions, atau Python AHP. Hasil akhir dianalisis untuk memberikan rekomendasi teknis yang akuntabel, terstruktur, dan dapat diterapkan dalam pengambilan keputusan di lapangan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini merangkum hasil pelaksanaan metodologi penelitian secara terstruktur, dengan tetap mempertahankan kedalaman analisis pada setiap tahap. Bagian awal menyajikan gambaran umum mengenai data penelitian, mencakup ruang lingkup pengamatan dan alasan pemilihan parameter produksi sebagai variabel analisis, yang menjadi dasar dalam memetakan kondisi teknis sumur-sumur di Lapangan JN. Tahap pengolahan data melibatkan serangkaian uji kelayakan melalui *factor analysis*, termasuk *KMO-Bartlett* dan *communalities*, untuk memastikan bahwa variabel yang digunakan benar-benar merepresentasikan karakteristik teknis yang paling berpengaruh terhadap performa sumur. Variabel yang memenuhi syarat kelayakan kemudian diterapkan dalam *Cluster Analysis* guna mengelompokkan sumur berdasarkan kesamaan pola produksi dan parameter reservoir yang berhubungan dengan kinerja *Electrical Submersible Pump (ESP)*. Melalui interpretasi *centroid*, setiap cluster memperoleh profil teknis yang jelas sehingga dapat diidentifikasi tingkat kelayakan masing-masing terhadap kemungkinan pemasangan *ESP Upsizing*.

Untuk memperoleh hasil yang lebih komprehensif, penelitian ini mengintegrasikan *Analytical Hierarchy Process (AHP)* sebagai metode penentuan bobot prioritas. AHP digunakan untuk menilai aspek teknis, operasional, dan ekonomis secara simultan sehingga pemilihan kandidat sumur tidak hanya mempertimbangkan potensi produksi, tetapi juga mempertimbangkan kemudahan akses rig, pengaruh cuaca, keamanan area, dan biaya operasi. Integrasi kedua metode ini memungkinkan analisis yang lebih tajam: *Cluster Analysis* menetapkan kelompok sumur potensial, sedangkan AHP menentukan urutan prioritas pengerjaan berdasarkan tingkat kelayakan dan efektivitas operasional.

Dengan pendekatan terpadu ini, bagian ini tidak hanya menyajikan hasil statistik, tetapi juga menghubungkan temuan dengan kondisi aktual lapangan yang menghadapi penurunan tekanan reservoir sebagai karakteristik lapangan *brownfield*. Pada bagian akhir bab, diperoleh gambaran sumur-sumur yang paling berpotensi untuk dilakukan instalasi *ESP Upsizing* terlebih dahulu, sehingga dapat menjadi dasar penyusunan strategi optimasi produksi Lapangan JN. Penelitian dilakukan di Lapangan Migas JN yang telah beroperasi lebih dari lima dekade, di mana penurunan tekanan reservoir menjadikan teknologi *artificial lift*—terutama ESP—sebagai kebutuhan prioritas untuk menjaga keberlanjutan produksi.

Tabel 1. Data *Reservoir* Sumur Lapangan JN
(Data Tim *Subsurface* PT. XYZ per-Agustus 2025)

No	Well Name	X1	X2	X3	X4	X5	X6
		BS&W (%)	GOR (scf/stb)	SBHP (psi)	FBHP (psi)	Qmax (blpd)	PI
1	JN-0003	96.44	528	1955	1887	38740	35.67
2	JN-0007	98.69	1085	1901	1140	4907	4.65
3	JN-0008	95.15	221	1845	1602	7461	7.28
4	JN-0009	98.45	1319	1852	1391	4129	4.01
5	JN-0010	95.21	295	2021	1900	23761	21.16
6	JN-0012	95.8	68	1845	1492	5704	5.56
7	JN-0016	98.5	734	1940	977	731	0.68
8	JN-0018	95.42	440	1923	1777	16438	15.39
9	JN-0019	96.63	536	1916	1870	36338	34.14
10	JN-0023	96.53	422	1845	872	1938	1.89
11	JN-0025	98.52	704	1830	1542	1894	1.86
12	JN-0027	95.32	750	1848	1435	5788	5.64
13	JN-0028	94.48	66	2062	1939	14462	12.62
14	JN-0029	95.27	175	1923	1151	2250	2.11
15	JN-0031	97.53	580	1995	1102	2626	2.37
16	JN-0035	98.59	800	1995	1061	2031	1.83
17	JN-0036	95.82	461	1889	1096	2057	1.96
18	JN-0040	96.43	202	1862	1424	3633	3.51
19	JN-0042	96.68	439	1949	1849	6648	6.14
20	JN-0049	97.31	868	1936	1500	3701	3.44
21	JN-0050	98.84	784	2100	2023	26280	22.53
22	JN-0051	97.99	315	1845	1575	6636	6.47
23	JN-0052	96.08	491	1909	1830	12309	11.61
24	JN-0053	98.77	998	1862	1290	3715	3.59

Dalam penelitian ini, sebanyak 24 sumur aktif di Lapangan JN digunakan sebagai sampel analisis. Jumlah tersebut dipilih bukan hanya karena ketersediaan data, tetapi juga karena mampu merepresentasikan variasi kondisi reservoir dan performa produksi yang ada, sehingga hasil analisis dapat memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai karakteristik lapangan. Enam variabel teknis utama digunakan untuk menganalisis karakteristik sumur, yaitu kandungan air dan sedimen dalam minyak (BS&W), *Gas Oil Ratio (GOR)*, *Static Bottom Hole Pressure (SBHP)*, *Flowing Bottom Hole Pressure (FBHP)*, kapasitas produksi maksimum (*Qmax*), dan *Productivity Index (PI)*. Setiap variabel dipilih berdasarkan relevansi teoritis dan praktis: *Qmax* menunjukkan potensi produksi, *GOR* menjadi parameter kunci dalam menilai stabilitas operasi *ESP*, *PI* mengukur kemampuan sumur menghasilkan fluida secara efisien, sementara BS&W, SBHP, dan FBHP memberikan gambaran detail mengenai kualitas fluida dan kondisi reservoir.

Data produksi yang digunakan merupakan data aktual yang telah divalidasi oleh Tim Subsurface PT. XYZ, sehingga reliabilitas analisis dapat terjamin. Validasi ini menjadi aspek

penting karena kesalahan data dapat memengaruhi hasil klasifikasi sumur. Proses pengolahan data dilakukan menggunakan metode statistik multivariat melalui *statistical data processing software*, yang dipilih karena mampu menangkap hubungan kompleks antarvariabel sekaligus menghasilkan output kuantitatif yang dapat dipertanggungjawabkan secara akademik.

Pemetaan data awal ini tidak hanya memberikan deskripsi kondisi tiap sumur, tetapi juga memungkinkan identifikasi pola kemiripan antar sumur sehingga proses *cluster analysis* dapat dilakukan secara lebih terarah. Dengan pemahaman tersebut, strategi optimasi produksi khususnya program *ESP Upsizing*—dapat difokuskan pada kelompok sumur yang memiliki potensi peningkatan produksi paling signifikan. Dengan demikian, bagian ini menjadi landasan awal bagi analisis lanjutan yang bersifat lebih evaluatif, sistematis, dan terukur.

Hasil Analisis Faktor dan Uji Asumsi

Tahap analisis selanjutnya dilakukan dengan rangkaian uji asumsi statistik guna memastikan bahwa data memenuhi kelayakan untuk dianalisis menggunakan metode multivariat. Validitas hasil *cluster analysis* sangat bergantung pada kualitas dan kesesuaian data, sehingga uji asumsi menjadi langkah yang tidak dapat diabaikan. Pada tahap ini, penelitian menerapkan beberapa pengujian utama, yaitu *KMO–Bartlett's Test*, *Communalities*, *Anti-Image Matrices*, serta *ANOVA*, yang secara keseluruhan berfungsi untuk menilai apakah variabel BS&W, *GOR*, *SBHP*, *FBHP*, *Qmax*, dan *PI* layak digunakan dalam proses pengelompokan sumur.

Proses pengolahan data dimulai dengan memasukkan seluruh data produksi dari 24 sumur ke dalam *data sheet* perangkat lunak statistik, kemudian dilanjutkan dengan pemilihan menu *factor analysis* melalui fitur *dimension reduction*. Pada tahap ini, seluruh variabel teknis diikutsertakan untuk diuji kelayakannya. Uji *KMO–Bartlett* dilakukan untuk memastikan bahwa matriks korelasi antar variabel memiliki tingkat *sampling adequacy* yang memadai serta menunjukkan adanya korelasi yang signifikan sehingga layak dilanjutkan ke analisis faktor. Selanjutnya, nilai *communalities* diekstraksi menggunakan metode *Principal Component Analysis (PCA)* untuk menilai sejauh mana masing-masing variabel mampu menjelaskan keragaman data; nilai di bawah 0.5 diinterpretasikan sebagai variabel yang kurang representatif.

Pada tahap berikutnya, *Anti-Image Matrices* digunakan untuk menilai *Measure of Sampling Adequacy (MSA)* tiap variabel. Variabel yang memiliki MSA di bawah 0.5 dipertimbangkan untuk dieliminasi karena berpotensi mengganggu hasil analisis multivariat. Setelah itu, dilakukan uji *ANOVA* untuk memastikan bahwa variabel-variabel tersebut benar-benar mampu membedakan karakteristik antar kelompok sumur, sehingga hasil *clustering* nantinya memiliki landasan statistik yang kuat.

Melalui rangkaian uji ini, penelitian memastikan bahwa seluruh variabel yang digunakan tidak hanya relevan secara teknis, tetapi juga memenuhi persyaratan statistik yang diperlukan untuk menghasilkan segmentasi sumur yang valid dan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah. Dengan demikian, tahap ini menjadi fondasi penting sebelum penelitian berlanjut ke proses pengelompokan sumur menggunakan *cluster analysis*.

Uji KMO-Bartlett dan Communalities

Pada tahap pertama pengujian, hasil *Kaiser-Meyer-Olkin (KMO)* menunjukkan nilai 0.654, melampaui batas minimal *Measure of Sampling Adequacy (MSA)* sebesar 0.5 sebagaimana dijelaskan oleh Hair et al. (2019). Nilai ini menandakan bahwa data memiliki kecukupan sampel yang memadai untuk dianalisis lebih lanjut menggunakan analisis faktor. Uji *Bartlett's Test of Sphericity* juga menghasilkan nilai signifikansi 0.000, yang berada jauh di bawah ambang 0.05, menunjukkan bahwa terdapat korelasi yang signifikan antarvariabel sehingga matriks korelasi layak untuk direduksi menjadi sejumlah faktor. Meskipun demikian, hasil *Communalities* memperlihatkan bahwa tidak semua variabel memenuhi syarat kontribusi minimal. Variabel SBHP hanya memperoleh nilai *extraction* sebesar 0.447, di bawah batas 0.5,

yang mengindikasikan bahwa variabel ini tidak cukup representatif dalam menjelaskan faktor yang terbentuk. Karena kontribusinya yang rendah, variabel ini kemudian dieliminasi dari tahap analisis berikutnya.

Setelah variabel SBHP dikeluarkan, dilakukan pengujian ulang pada tahap kedua untuk memastikan bahwa data yang tersisa tetap memenuhi kelayakan statistik. Nilai KMO sebesar 0.645 kembali menunjukkan kecukupan sampel yang memadai, sedangkan Uji Bartlett tetap menghasilkan nilai signifikansi 0.000, menegaskan bahwa korelasi antarvariabel masih kuat dan konsisten. Pada tahap ini, *Communalities* menunjukkan peningkatan kualitas data, di mana seluruh variabel yang tersisa—BS&W, *GOR*, FBHP, *Qmax*, dan PI—memiliki nilai *extraction* di atas ambang 0.5. Variabel GOR tercatat memiliki kontribusi terbesar dengan nilai 0.879, diikuti oleh Qmax sebesar 0.850, sementara PI tetap menunjukkan kontribusi yang memadai dengan nilai 0.604. Hasil ini mengonfirmasi bahwa seluruh variabel pada tahap kedua telah memenuhi standar kelayakan statistik dan memiliki kemampuan yang cukup dalam menjelaskan variasi faktor yang terbentuk, sehingga layak digunakan dalam proses analisis multivariat selanjutnya**.**

Uji Anti Image Matrices - Communalities

Tabel 2. Interpretasi *Communalities*

Variabel	Nilai *Extraction Communalities*	Penjelasan
X_1_BS&W	0.871	Sekitar 87.1% *varians* dapat dijelaskan oleh faktor yang terbentuk.
X_2_GOR	0.879	Sekitar 87.9% *varians* dapat dijelaskan oleh faktor yang terbentuk.
X_4_FBHP	0.771	Sekitar 77.1% *varians* dapat dijelaskan oleh faktor yang terbentuk.
X_5_Q*max*	0.850	Sekitar 85% *varians* dapat dijelaskan oleh faktor yang terbentuk.
X_6_PI	0.604	Sekitar 60.4% *varians* dapat dijelaskan oleh faktor yang terbentuk.

Uji ANOVA

Pada tahap pertama, setelah data dinyatakan layak melalui *KMO–Bartlett* dan *Anti-Image Matrices*, dilakukan pengujian menggunakan *Analysis of Variance (ANOVA)* untuk memastikan bahwa variabel yang digunakan benar-benar mampu membedakan karakteristik antar *cluster*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa hanya tiga variabel yang memiliki pengaruh signifikan, yaitu GOR, *Qmax*, dan PI, sementara BS&W dan FBHP tidak menunjukkan perbedaan bermakna karena nilai *p-value* berada di atas 0.05. Temuan ini mengindikasikan bahwa hanya variabel-variabel dengan signifikansi statistik yang kuat yang dapat memberikan kontribusi nyata terhadap pembentukan *cluster*, sehingga analisis selanjutnya difokuskan pada ketiga variabel tersebut.

Pada tahap kedua, analisis diulang hanya dengan GOR, *Qmax*, dan PI. Nilai KMO sebesar 0.531 mengonfirmasi bahwa data berada pada tingkat *sampling adequacy* yang dapat diterima, sedangkan nilai signifikansi dari *Bartlett's Test* sebesar 0.024 menegaskan adanya korelasi antarvariabel yang cukup kuat sehingga data layak digunakan untuk analisis faktor. Pengujian lanjutan melalui *Anti-Image Matrices* juga menunjukkan bahwa ketiga variabel memiliki nilai MSA lebih dari 0.5, memperkuat bahwa variabel tersebut memenuhi kelayakan statistik dan secara teknis mewakili karakteristik kinerja sumur. Hasil *Communalities* pada tahap ini menunjukkan penurunan nilai ekstraksi untuk GOR menjadi 0.241, sedangkan *Qmax* dan PI tetap berada pada tingkat yang baik, masing-masing 0.676 dan 0.757. Walaupun kontribusi GOR menurun secara statistik, variabel ini tetap dipertahankan karena relevansinya yang kuat

secara teknis, khususnya terhadap risiko *gas interference* yang sangat memengaruhi kinerja ESP dan kelayakan sumur untuk proses *upsizing*.

Tabel 3. Interpretasi *Communalities* (Tahap Kedua)

Variabel	Nilai *Extraction Communalities*	Penjelasan
X_2_GOR	0.241	Sekitar 24.1% *varians* dapat dijelaskan oleh faktor yang terbentuk.
X_5_Q*max*	0.676	Sekitar 67.6% *varians* dapat dijelaskan oleh faktor yang terbentuk.
X_6_PI	0.757	Sekitar 75.7% *varians* dapat dijelaskan oleh faktor yang terbentuk.

Analisis *Cluster* Non-Hierarki (K-Means)

Tahapan berikutnya adalah melakukan pengelompokan sumur menggunakan metode *K-Means Clustering*, yakni metode non-hierarki yang mengelompokkan objek berdasarkan kedekatan nilai rata-rata atau *centroid*. Pemilihan metode ini didasarkan pada kemampuannya menangkap pola utama dari data produksi tanpa memerlukan struktur hierarki. Jumlah *cluster* ditetapkan tiga, sesuai hasil *scree plot* dan pertimbangan teknis lapangan. Proses iterasi menunjukkan bahwa *K-Means* mencapai kondisi stabil pada iterasi kelima, ketika perubahan nilai *centroid* mencapai 0.000, yang menandakan bahwa struktur pengelompokan telah konvergen dan tidak mengalami perubahan pada iterasi berikutnya.

Hasil Uji ANOVA Antar *Cluster*

Langkah berikutnya setelah proses pengelompokan adalah mengevaluasi kembali kontribusi setiap variabel terhadap perbedaan karakteristik *cluster* melalui uji ANOVA. Hasil pengujian tahap kedua menunjukkan bahwa tiga variabel memiliki pengaruh signifikan, dengan nilai *p-value* sebesar 0.0000 (<0.005). Secara teknis, ketiga variabel ini merupakan indikator utama performa ESP. Variabel GOR berperan penting karena nilai yang tinggi dapat memicu *gas lock* pada pompa, Qmax mencerminkan kapasitas produksi maksimum yang dapat dicapai sumur, dan PI menggambarkan efisiensi sumur dalam memproduksi fluida per satuan tekanan. Dengan demikian, ketiga variabel tersebut tidak hanya signifikan secara statistik, tetapi juga memiliki relevansi langsung terhadap keberhasilan perencanaan dan operasional ESP pada lapangan migas *brownfield*, sehingga menjadi dasar pertimbangan utama dalam pengambilan keputusan teknis.

Analisis *Final Cluster Centers* dan Karakteristiknya

Nilai *Final Cluster Center* memberikan gambaran karakteristik setiap *Cluster* berdasarkan nilai *z-score* rata-rata untuk masing-masing variabel. Berdasarkan Tabel 4, kita dapat mengetahui posisi dari masing-masing variabel.

Tabel 4. *Final Cluster Centers*

Variabel	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3
Zscore (X_2_GOR)	-0.75920	0.98199	-0.24920
Zscore (X_5_Q_{max})	-0.23352	-0.59318	1.53477
Zscore (X_6_PI)	-0.32423	-0.50454	1.55663

Interpretasi hasil *z-score* menunjukkan perbedaan performa yang jelas antar kelompok. *Cluster* 1 memiliki nilai negatif pada seluruh variabel—GOR, Qmax, dan PI—yang menandakan bahwa sumur-sumur di dalamnya beroperasi di bawah rata-rata. *Cluster* 2 dicirikan oleh GOR yang tinggi namun disertai Qmax dan PI yang rendah, menggambarkan sumur dengan dominasi gas dan efisiensi produksi yang lemah. Sementara itu, *Cluster* 3 menunjukkan nilai positif tinggi pada Qmax dan PI, sehingga kelompok ini merepresentasikan sumur dengan performa produksi terbaik. Dari total 24 sumur, sebanyak 10 sumur masuk

Cluster 1, 9 sumur berada pada *Cluster* 2, dan hanya 5 sumur tergolong *Cluster* 3. Distribusi ini menegaskan bahwa mayoritas sumur di Lapangan JN berada pada tingkat performa rendah hingga menengah, sedangkan hanya sebagian kecil sumur yang menunjukkan produktivitas dan efisiensi yang sangat tinggi.

Interpretasi Teknis Tiap *Cluster*

Tabel 5. Hasil Pengelompokan Sumur Berdasarkan *Final Cluster Center*

CLUSTER 1	CLUSTER 2	CLUSTER 3
JN-0012	JN-0007	JN-0003
JN-0018	JN-0009	JN-0008
JN-0023	JN-0016	JN-0010
JN-0028	JN-0025	JN-0019
JN-0029	JN-0027	JN-0050
JN-0036	JN-0031	
JN-0040	JN-0035	
JN-0042	JN-0049	
JN-0051	JN-0053	
JN-0052		

Cluster pertama menggambarkan kelompok sumur dengan performa rendah, ditandai Qmax dan PI yang berada di bawah rata-rata serta GOR yang juga rendah. Kondisi ini menunjukkan keterbatasan produktivitas akibat tekanan reservoir yang melemah dan potensi *formation damage*, sehingga peningkatan kapasitas pompa tidak akan memberikan dampak signifikan. Sumur-sumur dalam kelompok ini lebih cocok untuk intervensi pemulihan seperti *acidizing*, *perforation*, atau *wellbore cleaning* sebelum dapat dipertimbangkan untuk optimasi menggunakan ESP.

Cluster kedua menunjukkan performa sedang, dengan ciri utama GOR sangat tinggi, sementara Qmax dan PI rendah. Tingginya rasio gas meningkatkan risiko *gas interference* dan *gas lock*, namun masih memungkinkan peningkatan produksi jika menggunakan ESP dengan sistem *Advanced Gas Handling* atau *gas separator*. Meski demikian, kebutuhan teknologi pendukung membuat kelompok ini hanya layak menjadi prioritas kedua, bergantung pada hasil keekonomian dan kondisi reservoir yang mengarah pada potensi *gas cap*.

Cluster ketiga merupakan kelompok dengan performa terbaik, ditandai Qmax dan PI yang jauh di atas rata-rata serta GOR sedang. Kondisi ini mencerminkan sumur dengan tekanan reservoir kuat dan efisiensi produksi tinggi, sehingga menjadi kandidat utama instalasi ESP Upsizing. Penggunaan pompa berkapasitas lebih besar dan sistem *Variable Speed Drive* sangat ideal untuk memaksimalkan produksi sekaligus menjaga efisiensi energi dan umur ESP.

Secara keseluruhan, ketiga *cluster* tersebut memberikan gambaran menyeluruh terkait variasi performa sumur di Lapangan JN, menghasilkan lima kandidat utama untuk ESP Upsizing: JN-03, JN-08, JN-10, JN-19, dan JN-50. Namun, identifikasi teknis ini belum cukup untuk menentukan urutan prioritas instalasi, mengingat keputusan pemasangan ESP juga dipengaruhi aspek ekonomi, operasional, dan risiko lapangan. Oleh sebab itu, langkah selanjutnya adalah menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) untuk melakukan pembobotan dan menentukan prioritas akhir secara sistematis.

Hasil Analisis *Hierarchy Process* (AHP)

Tahap ini melanjutkan hasil *Cluster Analysis* yang telah mengidentifikasi lima sumur dengan performa produksi terbaik di Lapangan JN, yaitu JN-03, JN-08, JN-10, JN-19, dan JN-50, yang tergolong dalam Cluster 3 dengan potensi teknis tertinggi untuk instalasi ESP Upsizing. Namun, hasil pengelompokan belum menentukan urutan prioritas pengerjaan karena

masing-masing sumur menghadapi tantangan operasional yang berbeda, termasuk target produksi, akses rig, kondisi cuaca, keamanan, dan *operational cost*. Untuk itu, digunakan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) untuk membobot kriteria dan menentukan prioritas pengerjaan sumur secara sistematis. Metode ini dipilih karena mampu mengintegrasikan pertimbangan teknis dan manajerial dalam satu sistem pengambilan keputusan yang terukur dan konsisten, sesuai dengan konteks penelitian di PT. XYZ yang melibatkan berbagai ahli lintas disiplin.

Responden Ahli dan Pelaksanaan FGD

Dalam penelitian ini, dilakukan *Focus Group Discussion* (FGD) dengan lima ahli yang memiliki pengalaman 7–30 tahun di bidang intervensi dan perawatan sumur serta kewenangan manajerial pada instalasi ESP Upsizing di Lapangan JN. FGD dilaksanakan dalam dua tahap, pertama pemaparan hasil *Cluster Analysis* bersama Tim Engineering Jakarta untuk menjelaskan dasar pemilihan sumur kandidat dari sisi teknis, terutama performa produksi, tekanan reservoir, dan potensi peningkatan *liquid rate*. Tahap kedua berupa diskusi dan pengisian kuesioner *AHP*, di mana para ahli menilai tingkat kepentingan antar kriteria menggunakan skala 1–9 sesuai Saaty (2012), mencerminkan preferensi relatif setiap kriteria dalam pengambilan keputusan lapangan. Latar belakang teknis, operasional, dan manajerial para responden saling melengkapi, sehingga hasil penelitian mencerminkan perspektif lintas fungsi, mulai dari *engineering design*, pelaksanaan operasional, keselamatan lapangan, hingga pengendalian logistik. Semua kuesioner kemudian diolah kuantitatif menggunakan *Microsoft Excel*, dengan masing-masing responden membentuk *pairwise comparison matrix* 5 x 5, dan digabungkan menggunakan *geometric mean* menjadi satu *group decision matrix* yang mewakili perspektif kolektif para ahli terhadap setiap kriteria.

Penyusunan Matriks Kriteria Berpasangan

Penelitian menggunakan lima kriteria utama untuk evaluasi, yaitu *Target Produksi* (TP) yang mencerminkan potensi peningkatan output minyak setelah ESP Upsizing, *Akses Rig* (AR) yang menilai kemudahan mobilisasi rig dan peralatan, *Cuaca* (CU) yang mempertimbangkan kondisi iklim terkait keselamatan dan keterlambatan, *Keamanan* (KM) yang mengukur risiko sosial dan keamanan di area kerja, serta *Operational Cost* (OC) yang menilai biaya dan durasi pengerjaan proyek. Dalam FGD, para ahli menilai setiap pasangan kriteria menggunakan *Saaty scale* 1–9, di mana 1 berarti sama penting dan 9 berarti satu kriteria jauh lebih penting daripada yang lain, dengan bimbingan peneliti agar persepsi responden seragam. Hasil penilaian membentuk lima *pairwise comparison matrix* 5 x 5, yang kemudian digabungkan melalui *geometric mean* untuk membentuk keputusan kelompok yang representatif dan mengurangi dominasi persepsi individu. Hasil penggabungan data dengan *geometric mean* tersebut menghasilkan matriks kolektif seperti berikut:

Tabel 6. Tabel Matriks Kriteria Berpasangan

Geometric Mean					
Pairwise Comparison	TP	AR	CU	KM	OC
TP	1	4	6	5	4
AR	0,243	1	3	3	3
CU	0,169	0,392	1	2	2
KM	0,186	0,392	0,530	1	2
OC	0,260	0,398	0,561	0,450	1
SUM	1,858	6,294	10,574	11,268	11,360

Tabel ini menjadi dasar untuk melanjutkan tahap berikutnya, yakni normalisasi matriks dan perhitungan bobot kriteria secara sistematis.

Normalisasi dan Perhitungan Bobot Kriteria

Tabel 7. Normalisasi dan Bobot Prioritas Kriteria
Berdasarkan Hasil AHP

Normalize Table							
Pairwise Comparison	**TP**	**AR**	**CU**	**KM**	**OC**	**AVG POINT**	**%**
TP	0,538	0,653	0,561	0,477	0,338	0,514	**51,37%**
AR	0,131	0,159	0,241	0,226	0,221	0,196	**19,57%**
CU	0,091	0,062	0,095	0,168	0,157	0,114	**11,44%**
KM	0,100	0,062	0,050	0,089	0,195	0,099	**9,93%**
OC	0,140	0,063	0,053	0,040	0,088	0,077	**7,69%**
SUM						1,000	**100,00%**

Hasil bobot menunjukkan bahwa 51,37% keputusan dipengaruhi oleh *Target Produksi* (TP), menegaskan fokus perusahaan pada peningkatan volume produksi dibanding sekadar efisiensi biaya. *Akses Rig* (AR) menempati posisi kedua (19,57%), menandakan pentingnya kemudahan mobilisasi logistik dan rig, sedangkan *Cuaca* (CU) dan *Keamanan* (KM) mencerminkan perhatian terhadap keselamatan dan risiko eksternal. *Operational Cost* (OC) memiliki bobot terkecil, menunjukkan efisiensi biaya menjadi pertimbangan setelah faktor teknis dan logistik terpenuhi. Sesuai konsep *dominance and threshold relevance* Saaty (2012), kriteria TP yang dominan dijadikan fokus utama dalam menentukan prioritas sumur, menyederhanakan pengambilan keputusan dan mencerminkan strategi perusahaan yang menekankan *production optimization first*, di mana peningkatan produksi awal dapat menutupi biaya proyek awal.

Uji *Consistency Ratio* (Konsistensi Penilaian)

Tabel 8. Random Index atau RI (Saaty, 2012)

Matrix size	Random consistency index (RI)
1	0.00
2	0.00
3	0.58
4	0.90
5	1.12
6	1.24
7	1.32
8	1.41
9	1.45
10	1.49

Nilai λ *max* diperoleh sebagai berikut:

- λ *max* = (1.858 x 0.514) + (6.294 x 0.196) + (10.574 x 0.114) + (11.268 x 0.099) + (11.356 x 0.077)
  λ *max* = 5.388
- Bila Rumus (6) pada Bab 2 diaplikasikan, maka diperoleh CI = 0.097
- Bila Rumus (7) pada Bab 2 diaplikasikan, maka diperoleh CR = 0.087 (8.7%)

Karena CR < 0.10 (10%), maka hasil perbandingan berpasangan dianggap konsisten. Artinya, hubungan antar penilaian yang diberikan para responden bersifat logis dan tidak bertentangan. Konsistensi ini juga menunjukkan keberhasilan proses FGD dalam menyamakan

persepsi antar ahli lintas disiplin, seperti *engineering* dan operasi. Dengan demikian, hasil pembobotan dapat digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan tanpa perlu dilakukan revisi penilaian.

Penilaian Alternatif Sumur Terhadap Kriteria

Tahap ini menilai alternatif sumur hasil Analisis Cluster, yaitu JN-03, JN-08, JN-10, JN-19, dan JN-50, yang termasuk Cluster 3 dengan potensi produksi tertinggi. Penentuan prioritas pengerjaan penting untuk memastikan proyek ESP Upsizing berjalan efektif dan meningkatkan produksi lapangan. Penilaian dilakukan melalui *pairwise comparison* berdasarkan masukan lima ahli, menggunakan skala 1-9 sesuai intensitas preferensi Saaty. Seluruh penilaian individu digabungkan dengan metode *geometric mean* untuk membentuk matriks gabungan yang merepresentasikan pandangan kolektif. Hasilnya menunjukkan perbandingan antar sumur terkait *Target Produksi* (TP), menggambarkan sejauh mana tiap sumur lebih unggul dalam meningkatkan produksi setelah ESP Upsizing.

Tabel 9. Tabel Matriks Sumur Berpasangan

Geometric Mean					
Pairwise Comparison	JN-03	JN-08	JN-10	JN-19	JN-50
JN-03	1	7	2	1	6
JN-08	0,136	1	0,194	0,180	1
JN-10	0,506	5,144	1	1	4
JN-19	0,803	5,547	1,431	1	5
JN-50	0,158	0,871	0,242	0,186	1
SUM	2,603	19,891	4,842	3,311	18,002

Matriks perbandingan menunjukkan bahwa JN-03, JN-10, dan JN-19 dinilai dominan dibanding sumur lain, sedangkan JN-08 dan JN-50 memiliki nilai lebih rendah. Contohnya, JN-03 dianggap tujuh kali lebih unggul daripada JN-08, dan JN-19 lima kali lebih unggul dibanding JN-50 dalam potensi peningkatan produksi. Setelah normalisasi matriks, diperoleh bobot proporsional antar sumur untuk *Target Produksi* (TP), yaitu JN-03 tertinggi 0.378 (37.8%), diikuti JN-19 0.297 (29.7%) dan JN-10 0.220 (22.0%), sedangkan JN-08 dan JN-50 masing-masing 0.052 (5.22%) dan 0.053 (5.32%)

Tabel 10. Normalisasi dan Bobot Prioritas Alternatif
Berdasarkan Kriteria TP

Normalize Table							
Pairwise Comparison	JN-03	JN-08	JN-10	JN-19	JN-50	AVG POINT	%
JN-03	0,384	0,369	0,408	0,376	0,353	0,378	**37,8%**
JN-08	0,052	0,050	0,040	0,054	0,064	0,052	**5,2%**
JN-10	0,195	0,259	0,207	0,211	0,229	0,220	**22,0%**
JN-19	0,308	0,279	0,296	0,302	0,299	0,297	**29,7%**
JN-50	0,061	0,044	0,050	0,056	0,056	0,053	**5,3%**
SUM						1,000	**100,0%**

Kemudian untuk memastikan bahwa penilaian kolektif para ahli bersifat logis dan tidak kontradiktif, maka kita perlu melakukan Uji Konsistensi atau *Consistency Ratio* (CR). Nilai *eigen* maksimum (λ max) diperoleh dengan mengalikan matriks awal dengan vektor bobot, kemudian hasilnya dibagi dengan bobot kriteria masing-masing dan di rata-ratakan, dalam hal ini $n = 5$. Hasilnya adalah sebagai berikut:

- $\lambda\ max$ = (2.603 x 0.378) + (19.891 x 0.052) + (4.482 x 0.220) + (3.311 x 0.297) + (18.002 x 0.053)
  $\lambda\ max = 5.028$
- Bila Rumus (6) pada Bab 2 diaplikasikan, maka diperoleh CI = 0.007
- Dan bila Rumus (7) diaplikasikan, maka diperoleh CR = 0.006 (0.6%)

Nilai CR sebesar 0.006 dan dibawah 0.1 menunjukkan bahwa matriks perbandingan ini sangat konsisten. Artinya, persepsi para ahli terhadap Tingkat keunggulan relative antar sumur bersifat stabil dan dapat diterima secara statistic sesuai dengan batas toleransi yang ditetapkan oleh Saaty.

Hasil *Analitycal Hierarchy Process* (AHP)

Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan metode AHP, diperoleh bobot prioritas yang jelas untuk setiap sumur terkait kriteria Target Produksi (TP), sehingga memberikan dasar kuantitatif bagi pengambilan keputusan teknis dalam proyek ESP Upsizing di Lapangan JN. Sumur JN-03 memiliki bobot tertinggi sebesar 0.378 (37,78%), diikuti JN-19 dengan bobot 0.297 (29,67%), dan JN-10 sebesar 0.220 (22,00%). Dua sumur lain, JN-08 dan JN-50, memiliki bobot relatif rendah, masing-masing 0.052 (5,22%) dan 0.053 (5,32%). Hasil ini menunjukkan bahwa JN-03 merupakan kandidat utama dengan potensi produksi tertinggi, sejalan dengan hasil Analisis Cluster sebelumnya yang menempatkannya dalam kelompok sumur dengan reservoir baik dan productivity index tinggi. Implementasi ESP Upsizing pada sumur ini diharapkan memberikan peningkatan produksi signifikan bagi target lapangan.

Sumur JN-19 menempati urutan kedua dengan potensi peningkatan produksi yang tinggi, didukung oleh reservoir pressure memadai dan fluid rate yang baik, sehingga layak dimasukkan dalam batch proyek setelah JN-03. JN-10 berada pada posisi ketiga, memiliki productivity index yang baik dan potensi gangguan gas rendah, tetap menjadi kandidat strategis untuk proyek di masa depan meskipun bobotnya lebih rendah dibanding dua sumur sebelumnya. Sebaliknya, JN-08 dan JN-50 memiliki bobot rendah karena kontribusinya terhadap peningkatan produksi kecil. Analisis teknis menunjukkan JN-08 memiliki akses yang sulit dan potensi produksi rendah, sedangkan JN-50 meski PI tinggi, GOR yang tinggi meningkatkan risiko gangguan gas, sehingga potensi manfaatnya tidak sebanding dengan risiko dan biaya operasional.

Hasil konsistensi (Consistency Ratio/CR) sebesar 0.006 menunjukkan bahwa penilaian kelima ahli sangat konsisten, jauh di bawah ambang batas 0.1 yang direkomendasikan Saaty, sehingga prioritas yang dihasilkan dapat diterima secara statistik. Proses agregasi menggunakan metode geometric mean berhasil menyatukan perbedaan persepsi antar ahli menjadi keputusan representatif. Hal ini menegaskan bahwa metode AHP mampu mengukur tingkat kepentingan kriteria sekaligus mengintegrasikan dimensi kualitatif dan kuantitatif dalam pengambilan keputusan. Dengan demikian, metode ini memberikan dasar analitis yang kuat untuk menentukan urutan pengerjaan sumur berdasarkan kombinasi potensi produksi, efisiensi operasional, dan pertimbangan teknis, serta mendukung prinsip evidence-based decision making di proyek hulu migas dengan analisis yang terstruktur dan transparan.

Integrasi Hasil Analisis *Cluster* dan AHP

Bila hasil Analisis *Cluster* digunakan sebagai alat penyaringan awal untuk mengidentifikasi kelompok sumur potensial, maka AHP berperan sebagai alat seleksi akhir

yang memberikan urutan prioritas berdasarkan kriteria teknis dan operasional yang terukur. Dengan demikian, kombinasi kedua metode ini menghasilkan pendekatan yang lebih komprehensif:

1. Analisis *Cluster* – berperan untuk menentukan kelompok sumur yang memiliki potensi tinggi.
2. AHP – berperan untuk menentukan prioritas pengerjaan dalam kelompok tersebut berdasarkan bobot antar kriteria.

Kedua metode ini saling melengkapi bahwa hasil *Cluster* memberikan *macro view* terhadap karakteristik lapangan, sedangkan AHP memberikan *micro decision framework* untuk menentukan tindakan mana yang paling strategis di tingkat individual sumur. Sumur JN-03 dan JN-19 menjadi kandidat utama untuk tahap implementasi awal, diikuti oleh JN-10 sebagai cadangan prioritas ketiga. Sedangkan JN-08 dan JN-50 dapat dijadwalkan untuk tahap lanjutan setelah dilakukan kajian tambahan terkait keekonomian dan kesiapan teknis.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian berjudul *Penentuan Kandidat Sumur Untuk Instalasi Electrical Submersible Pump (ESP) Upsizing Dengan Metode Analisis Cluster dan AHP* di Lapangan Migas JN, PT. XYZ, dapat disimpulkan bahwa penerapan Analisis Cluster berhasil mengelompokkan 24 sumur berdasarkan parameter teknis seperti kapasitas produksi maksimum (Qmax), rasio gas-minyak (GOR), tekanan sumur (SBHP-FBHP), productivity index (PI), dan oil-water cut (BS&W). Tiga cluster terbentuk, mencerminkan karakteristik reservoir yang berbeda, di mana cluster dengan potensi optimal dipilih sebagai kandidat utama untuk proyek ESP Upsizing. Hal ini membuktikan bahwa analisis multivariat statistik dapat menjadi alat valid dalam memetakan kondisi teknis sumur dengan tingkat homogenitas tinggi, sehingga mempermudah pengambilan keputusan.

Metode AHP terbukti efektif dalam menentukan prioritas pengerjaan sumur dengan mempertimbangkan lima kriteria operasional komprehensif, yaitu target produksi, akses rig, kondisi cuaca, aspek keamanan, dan biaya operasional. Melalui proses evaluasi berpasangan, bobot prioritas kriteria dan alternatif sumur diperoleh secara konsisten dengan tingkat konsistensi yang dapat diterima (Consistency Ratio di bawah ambang batas standar), menunjukkan bahwa AHP mampu mengakomodasi berbagai aspek penting yang relevan dengan kondisi lapangan dalam pengambilan keputusan proyek.

Integrasi hasil Analisis Cluster dan AHP menghasilkan model pengambilan keputusan yang terstruktur dan aplikatif bagi manajemen lapangan. Model ini memungkinkan penentuan urutan pengerjaan sumur secara tepat, meningkatkan efisiensi operasi rig, dan memaksimalkan potensi kenaikan produksi melalui instalasi ESP Upsizing. Sumur prioritas utama seperti JN-03, JN-19, dan JN-10 menjadi fokus pengerjaan tahap awal, sementara sumur lain seperti JN-50 dan JN-08 dijadwalkan pada tahap berikutnya sesuai bobot prioritas. Penelitian ini tidak hanya menjawab rumusan masalah dan tujuan penelitian, tetapi juga memberikan solusi praktis untuk mendukung pengambilan keputusan operasional di lapangan. Model yang dikembangkan memberikan kontribusi signifikan bagi PT. XYZ dan industri migas secara umum, terutama dalam mengelola lapangan marginal yang menghadapi penurunan tekanan reservoir dan kebutuhan optimasi produksi yang efisien.

REFERENSI

Aguilar, S. M. S., Sobral, A. P. B., Amaral, M. C., Vianna, M. de F. D., Machado, F. S., & Moreira, M. A. C., 2024, 'Analysis of candidate oil wells for *workover* interventions using machine learning tools', *International Journal of Scientific Management and Tourism, 10(4)*, e1081.

Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E., 2019, 'Multivariate Data Analysis (8th ed.)'. *Pearson*. ISBN 13: 978-1-4737-5654-0.

Imantika, D., Bachtiar, F. A., & Rokhmawati, R. I., 2019, 'Penerapan Metode K-Means *Cluster*ing dan Analytical Hierarchy Process (AHP) untuk Pengelompokan Kinerja Guru dan Karyawan pada SMA Brawijaya Smart School'. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi Dan Ilmu Komputer, 3(8)*, 7382–7390

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, 2024, 'Statistik Migas Semester I 2024', retrieved from: https://migas.esdm.go.id/cms/uploads/informasi-publik/Stat_tahunan/Statistik-Migas-Semester-I-2024.pdf.

Saaty, T., L., dan Vargas, L., G., 2012, 'Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process', *Springer New York USA*. ISBN 978-1-4614-3596-9.

Sahoo, S. K., & Goswami, S. S., 2024, 'Green Supplier Selection using MCDM: A Comprehensive Review of Recent Studies', *Spectrum of Engineering and Management Sciences, 2(1)*, 1-16.

Takács, G., 2009, 'Electrical submersible pump manual: Design, operations, and maintenance', *PennWell Corporation*. ISBN 978-1-85617-557-9.

Thuanandee, S., 2024, 'Prioritizing on-Campus Coffee Shop Attributes for Quality Improvement: An AHP Analysis of University Students' Preferences', *International Journal of the Analytic Hierarchy Process, 16(3)*.

Yanto, M., 2021, 'Sistem Penunjang Keputusan Dengan Menggunakan Metode AHP Dalam Seleksi Produk'. *Jurnal Teknologi Dan Sistem Informasi Bisnis, 3(1)*, 167-174.