

PENENTUAN *FEEDZONE* GEOTHERMAL LAPANGAN REX MENGUNAKAN METODE PRESSURE TEMPERATURE SPINNER (PTS)

Rafael Excelxius Naraindra Mintardjo¹, Akhmad Sofyan^{1,2*}, Henk Subekti¹,
Muhammad Tamim Aurel Tajusalatin¹

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

²Department of Geology, Faculty of Earth Science, University of Szeged, 13 Dugonics Square, 6270
Szeged

*E-mail: akhmads@esdm.go.id

ABSTRAK

Karakterisasi reservoir geothermal merupakan aspek krusial dalam optimasi produksi pembangkit listrik tenaga panas bumi. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan *feedzone geothermal* di Lapangan REX menggunakan metode *Pressure-Temperature-Spinner* (PTS) untuk mengidentifikasi zona produktif, karakteristik *feedzone*, dan memahami distribusi fluida reservoir. Survei PTS dilakukan pada tanggal 8 Juli 2024 di salah satu sumur produksi hingga kedalaman 1815 mMD dalam kondisi *flowing*. Analisis kualitatif dan kuantitatif dilakukan terhadap profil tekanan, suhu, dan spinner untuk mengidentifikasi zona *inflow* fluida dan karakteristik reservoir. Hasil penelitian mengidentifikasi tiga *feedzone* produktif dengan karakteristik berbeda: Feedzone 1 pada interval 1063-1075 mMD (ketebalan 12 m) berkontribusi 2,1 kg/s (27,3%), Feedzone 2 pada interval 1356-1374 mMD (ketebalan 18 m) berkontribusi 3,2 kg/s (41,6%), dan Feedzone 3 pada interval 1474-1489 mMD (ketebalan 15 m) berkontribusi 2,4 kg/s (31,1%), dengan total laju alir produksi 7,7 kg/s. Feedzone 2 teridentifikasi sebagai kontributor utama dan target prioritas untuk program *acidizing*. Zona produktif efektif berada pada kedalaman 1069-1500 mMD (total ketebalan 45 m zona aktif dalam 431 m interval) yang ditandai dengan penurunan tekanan bertahap, penurunan suhu akibat proses *flashing*, dan respons spinner yang mengindikasikan aliran vertikal fluida. Ditemukan zona mati (*dead zone*) pada kedalaman di bawah 1500 mMD yang ditandai dengan tekanan konstan, kenaikan suhu signifikan, dan tidak ada kontribusi aliran. Penelitian ini memberikan informasi penting tentang distribusi zona produktif dan karakteristik reservoir yang dapat digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan dalam manajemen produksi dan pengembangan lapangan geothermal.

Kata kunci: Energi panas bumi, *Feedzone*, Geothermal, Reservoir, Survei PTS

1. PENDAHULUAN

Energi panas bumi merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang memiliki potensi besar untuk memenuhi kebutuhan energi global. Energi ini berasal dari panas yang tersimpan di dalam bumi akibat aktivitas vulkanik dan peluruhan radioaktif mineral di dalam kerak bumi [1]. Pada pembangkit listrik tenaga panas bumi, uap dari reservoir bawah tanah diambil melalui sumur produksi untuk memutar turbin yang menggerakkan generator listrik [2]. Proses ini menghasilkan energi listrik yang ramah lingkungan karena tidak melibatkan pembakaran bahan bakar fosil. Indonesia memiliki potensi panas bumi yang sangat besar karena terletak di jalur *ring of fire*. Potensi energi panas bumi Indonesia diperkirakan mencapai lebih dari 27.000 MWe

[3]. Lapangan REX yang berlokasi di Jawa Barat merupakan salah satu lapangan *geothermal* yang beroperasi di Indonesia. Setelah beberapa dekade beroperasi, karakterisasi reservoir yang akurat menjadi semakin penting untuk memastikan keberlanjutan produksi [4].

Karakterisasi reservoir panas bumi merupakan tahapan fundamental dalam menentukan tipe reservoir dan menilai kelayakan lapangan. Proses karakterisasi ini mencakup penentuan kedalaman dan kontribusi *feedzone* serta identifikasi zona produktif dan non-produktif [5]. Berbagai metode telah dikembangkan untuk karakterisasi reservoir panas bumi. Di antara berbagai metode tersebut, metode Pressure-Temperature-Spinner (PTS) telah terbukti menjadi salah satu teknik yang efektif [6]. Penelitian sebelumnya telah menunjukkan pentingnya metode PTS dalam karakterisasi reservoir *geothermal*. Studi tentang perilaku reservoir *geothermal* menggunakan metode PTS dan *gross permeability* test memberikan pemahaman komprehensif [7]. Karakterisasi *feedzone* berdasarkan data PTS *flowing* dan data geologi telah dilakukan untuk memahami distribusi zona produktif [8].

Analisis menggunakan metode PTS telah banyak digunakan di berbagai lapangan *geothermal*, analisis mendalam tentang zona non-produktif atau *dead zone* masih terbatas. Pemahaman tentang karakteristik *dead zone* sangat penting karena zona ini dapat memberikan informasi tentang batas efektif zona produktif. Publikasi ilmiah tentang karakteristik *reservoir* Lapangan REX menggunakan metode PTS masih terbatas, sehingga penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi penting.

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan utama menganalisis kondisi *feedzone* Lapangan REX menggunakan metode PTS. Secara spesifik, penelitian ini bertujuan mengidentifikasi lokasi dan karakteristik *feedzone* di sumur produksi. Penelitian juga bertujuan menganalisis profil tekanan, suhu, dan laju alir fluida di dalam sumur. Selain itu, penelitian ini mengidentifikasi zona yang tidak produktif dan memahami karakteristiknya serta memberikan interpretasi kondisi reservoir yang dapat mendukung pengambilan keputusan.

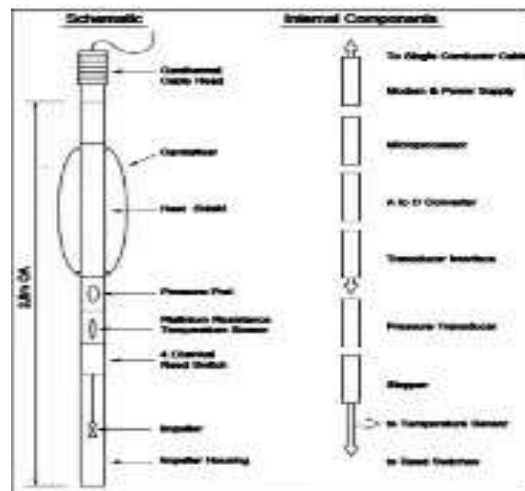
2. METODE

A. Lokasi dan Waktu Penelitian

Data ini diambil di sumur REX *geothermal* yang berlokasi di Jawa Barat, Indonesia. Survei PTS *Flowing* telah dilakukan pada sumur REX sebagai bagian dari kegiatan rutin pemantauan dan pemetaan profil aliran, yang dilakukan pada tanggal 8 Juli 2024. Data PTS yang didapat akan diolah dan diinterpretasikan untuk mengidentifikasi karakteristik reservoir, data yang akan didapatkan yaitu lokasi *feedzone*, tekanan, suhu, dan laju aliran fluida.

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder hasil survei PTS. Data mencakup tiga parameter utama yaitu tekanan dalam satuan bar, suhu dalam satuan derajat Celsius, dan laju alir fluida yang diukur menggunakan alat spinner dengan satuan RPM. Survei dilakukan dengan menurunkan peralatan PTS (Gambar 2) ke dalam sumur hingga mencapai kedalaman maksimum 1815 mMD (*meter Measured Depth*). Pengukuran dilakukan secara kontinyu selama penurunan alat untuk mendapatkan profil vertikal yang lengkap.

Peralatan yang digunakan dalam survei PTS terdiri dari beberapa komponen utama (Gambar 1) yang terintegrasi dalam satu rangkaian *tool* [6]. Komponen pertama adalah sensor tekanan yang dirancang khusus untuk mengukur tekanan fluida dengan akurasi tinggi. Komponen kedua adalah sensor suhu yang mampu bekerja pada rentang suhu yang luas [10]. Komponen ketiga adalah spinner atau *flowmeter* yang berfungsi mengukur kecepatan aliran fluida [9]. Ketiga sensor ini dipasang dalam satu rangkaian dan dihubungkan dengan unit *wireline* yang berfungsi menurunkan dan menaikkan *tool* secara terkontrol.



Gambar 1. Komponen PTS



Gambar 2. Peralatan PTS

Prosedur survei dilakukan dengan hati-hati untuk memastikan keselamatan operasi dan kualitas data yang diperoleh. Tahap pertama adalah persiapan peralatan dimana semua sensor dikalibrasi dan diuji fungsinya sebelum diturunkan ke dalam sumur. Setelah persiapan selesai, dilanjutkan ke tahap kedua yaitu *tool* PTS (Gambar 2) diturunkan ke dalam sumur menggunakan *wireline* dengan kecepatan terkontrol. Tahap ketiga penurunan tool, data tekanan, suhu, dan spinner direkam secara kontinyu dengan interval sampling yang memadai. Seluruh data direkam secara digital dan ditampilkan secara *real-time* di permukaan.

Analisis data dilakukan melalui dua pendekatan yaitu analisis kualitatif dan analisis kuantitatif yang saling melengkapi [7]. Pada tahap pra-pemrosesan, data mentah dari survei PTS diplot dalam bentuk grafik dengan sumbu vertikal menunjukkan kedalaman. Grafik ini memudahkan identifikasi pola dan anomali dalam data serta memberikan visualisasi yang jelas tentang kondisi sumur secara vertikal.

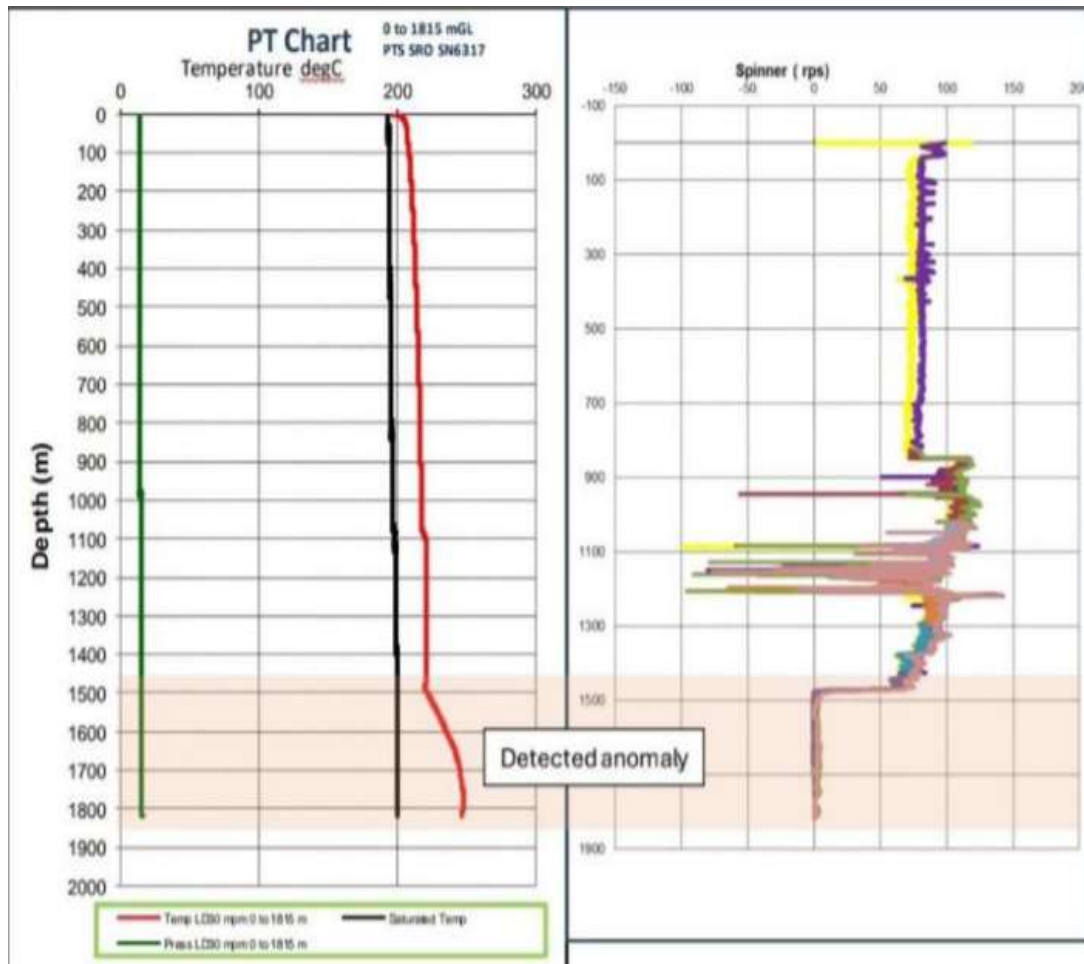
Analisis kualitatif dilakukan melalui interpretasi visual grafik PTS dengan fokus pada identifikasi *feedzone* [8]. *Feedzone* diidentifikasi dari beberapa indikator kunci yaitu adanya perubahan pada tren suhu yang mengindikasikan masuknya fluida dengan suhu berbeda. Perubahan kecepatan putaran spinner menunjukkan penambahan laju alir fluida [9]. Selain identifikasi *feedzone*, analisis kualitatif juga dilakukan untuk mengidentifikasi karakteristik fluida reservoir berdasarkan pola perubahan suhu dan tekanan [10].

Analisis kuantitatif meliputi beberapa tahapan perhitungan laju alir dan tekanan untuk mendapatkan nilai numerik yang lebih akurat. Data spinner yang terekam dalam satuan RPM

dikonversi menjadi laju alir massa dalam satuan kg/s [9]. Kontribusi laju alir dari setiap *feedzone* dihitung dengan menganalisis perubahan laju alir total pada setiap kedalaman [8].

3. PEMBAHASAN

A. Profil Tekanan, Suhu, dan Spinner



Gambar 3. Grafik Hasil PTS

Survei PTS dilakukan pada Sumur REX di Lapangan *Geothermal* REX pada tanggal 8 Juli 2024 dalam kondisi sumur sedang berproduksi. Data hasil survei menunjukkan bahwa sumur memproduksi fluida dengan laju alir total 7,7 kg/s pada saat survei dilakukan. Survei berhasil mencapai kedalaman maksimum 1815 mMD. Kondisi *flowing* selama survei memastikan bahwa data yang diperoleh mencerminkan kondisi operasi sumur.

Profil tekanan, suhu, dan spinner yang diperoleh dari survei PTS disajikan dalam Gambar 3. Gambar ini menunjukkan variasi ketiga parameter tersebut terhadap kedalaman dan memberikan informasi visual yang jelas. Dari gambar dapat diamati bahwa profil sumur dapat dibagi menjadi dua zona utama yang memiliki karakteristik berbeda yaitu zona produktif pada kedalaman 1069-1500 mMD dan zona mati pada kedalaman di bawah 1500 mMD.

B. Karakteristik Zona Produktif dan Identifikasi Feedzone

Zona produktif yang berada pada kedalaman 1069 hingga 1500 mMD menunjukkan karakteristik operasi sumur yang aktif. Pada zona ini, tekanan menunjukkan penurunan

bertahap seiring bertambahnya kedalaman yang mengindikasikan adanya aliran fluida dari reservoir menuju ke permukaan [11]. Penurunan tekanan ini merupakan hasil dari efek gesekan antara fluida dengan dinding sumur dan efek gravitasi pada kolom fluida. Pola penurunan yang bertahap mengindikasikan bahwa sumur menerima kontribusi fluida dari beberapa feedzone [13].

Berdasarkan analisis detail terhadap grafik PTS, teridentifikasi tiga feedzone utama yang berkontribusi terhadap produksi sumur. *Feedzone* pertama terletak pada kedalaman 1069 mMD, *feedzone* kedua pada kedalaman 1365 mMD, dan *feedzone* ketiga pada kedalaman 1482 mMD. Ketiga *feedzone* ini diidentifikasi berdasarkan beberapa indikator kunci yaitu adanya perubahan pada profil suhu [8]. Peningkatan kecepatan putaran spinner menunjukkan penambahan laju alir [9].

Analisis detail terhadap setiap feedzone pada Tabel 1 dilakukan untuk menentukan ketebalan zona produktif dan kontribusi relatifnya terhadap total produksi sumur. Feedzone 1 pada kedalaman 1069 mMD memiliki zona aktif sepanjang 12 meter dalam interval 1063-1075 mMD dengan kontribusi 2,1 kg/s atau 27,3% dari total produksi. Analisis spinner menunjukkan peningkatan kecepatan rotasi sebesar 185 RPM pada interval ini yang mengindikasikan *inflow* fluida reservoir yang signifikan [9]. Feedzone 2 pada kedalaman 1365 mMD memiliki zona aktif sepanjang 18 meter dalam interval 1356-1374 mMD dengan kontribusi 3,2 kg/s atau 41,6% dari total produksi, menjadikannya kontributor utama produksi sumur. Peningkatan spinner sebesar 278 RPM pada feedzone ini merupakan yang tertinggi di antara ketiga feedzone, mengkonfirmasi produktivitas superior zona ini [8]. Feedzone 3 pada kedalaman 1482 mMD memiliki zona aktif sepanjang 15 meter dalam interval 1474-1489 mMD dengan kontribusi 2,4 kg/s atau 31,1% dari total produksi. Analisis kontribusi ini menunjukkan bahwa Feedzone 2 merupakan zona paling produktif dan menjadi target prioritas untuk program stimulasi atau acidizing karena memiliki potensi peningkatan produksi paling besar dengan ketebalan zona yang paling lebar [15].

Profil suhu pada zona produktif menunjukkan penurunan yang merupakan karakteristik dari proses flashing [10]. *Flashing* adalah fenomena perubahan fase dari liquid menjadi uap yang terjadi ketika tekanan fluida menurun. Pada sumur geothermal, fluida dari reservoir mengalami penurunan tekanan saat mengalir ke atas menuju permukaan. Ketika tekanan turun di bawah tekanan saturasi, sebagian liquid berubah menjadi uap dengan menyerap panas [14].

Perubahan pada profil suhu di beberapa kedalaman mengindikasikan masuknya fluida dari reservoir yang memiliki karakteristik termal berbeda [10]. Ketika fluida dari feedzone masuk ke dalam sumur, terjadi pencampuran yang dapat menyebabkan perubahan suhu lokal. Analisis terhadap pola perubahan suhu di sekitar feedzone dapat memberikan informasi tentang karakteristik fluida reservoir dan potensi masalah operasional seperti scaling [11].

Profil spinner memberikan konfirmasi tentang lokasi *feedzone* dan kontribusi relatifnya terhadap total laju alir [9]. Perubahan kecepatan rotasi spinner di sekitar kedalaman 1069 mMD, 1365 mMD, dan 1482 mMD mengkonfirmasi adanya zona *inflow* fluida dari *reservoir*. Dari analisis profil spinner, dapat disimpulkan bahwa ketiga feedzone berkontribusi secara kumulatif menghasilkan total laju alir 7,7 kg/s [13].

Tabel 1. Data Kuantitatif Hasil PTS

Parameter	Nilai Kuantitatif	Satuan	Keterangan
Laju alir total	7,7	kg/s	Total produksi sumur
Total kedalaman maksimal	1815	mMD	Kedalaman maksimal logging
Total kedalaman zona produktif	1069-1500	mMD	Range zona
FEEDZONE 1			
Kedalaman tengah pertama	1069	mMD	Zona kontribusi aliran
Interval zona aktif meter	1063-1075	mMD	Ketebalan 12

Kontribusi aliran total	2,1	Kg/s	27,3%
Perubahan spinner	Delta RPM = 185	RPM	Indikasi inflow signifikan
FEEDZONE 2 (prioritas utama)			
Kedalaman tengah kedua	1365	mMD	Zona kontribusi
Interval zona aktif meter	1356-1374	mMD	Ketebelan 18
Kontribusi aliran total	3,2	Kg/s	41,6%
Perubahan spinner terbesar	RPM = 278	RPM	Kontributor
FEEDZONE 3			
Kedalaman tengah ketiga	1482	mMD	Zona kontribusi
Interval zona aktif meter	1474 - 1489	mMD	Ketebelan 15
Perubahan spinner terbesar	2,4	Kg/s	31,1%
Kedalaman zona mati produktif	>1500	mMD	Zona non produktif

Distribusi *feedzone* pada tiga kedalaman yang berbeda memberikan informasi penting tentang karakteristik *reservoir*. Keberadaan *feedzone* pada multiple level mengindikasikan bahwa *reservoir* memiliki zona permeabel pada beberapa horizon [5]. Hal ini kemungkinan dipengaruhi oleh struktur geologi seperti *fracture* yang memberikan jalur bagi fluida. Pemahaman tentang distribusi vertikal *feedzone* sangat penting untuk memahami karakteristik *reservoir* [16]. Mekanisme produksi di zona produktif dapat dijelaskan sebagai berikut. Fluida dari *reservoir* masuk ke dalam sumur melalui ketiga *feedzone* yang telah teridentifikasi. Fluida ini kemudian mengalir ke atas menuju permukaan didorong oleh perbedaan tekanan antara *reservoir* dengan permukaan. Selama perjalanan ke atas, fluida mengalami penurunan tekanan secara bertahap [10].

C. Karakteristik Zona Mati dan Implikasinya

Zona mati yang berada di bawah kedalaman 1500 mMD menunjukkan karakteristik yang berbeda dengan zona produktif di atasnya. Tekanan yang relatif konstan merupakan indikator bahwa tidak ada aliran fluida yang signifikan di zona ini [11]. Dalam kondisi normal pada sumur yang berproduksi, tekanan akan menurun seiring bertambahnya kedalaman akibat gesekan aliran fluida. Tekanan yang konstan menunjukkan bahwa fluida di zona ini berada dalam keadaan statis atau aliran yang sangat minimal [9].

Kenaikan suhu yang signifikan di zona mati merupakan fenomena yang dapat dijelaskan melalui mekanisme konduksi panas [10]. Pada zona yang tidak memiliki aliran fluida, perpindahan panas terjadi terutama melalui konduksi dari batuan formasi di sekitarnya. Tanpa adanya aliran fluida yang membawa panas secara konveksi, suhu di zona ini cenderung mendekati suhu *geothermal* alami. Pola kenaikan suhu menunjukkan bahwa zona mati tidak berkontribusi terhadap produksi sumur [13].

Kombinasi tekanan konstan, suhu tinggi, dan tidak adanya aliran di zona mati mengindikasikan bahwa zona ini tidak berkontribusi terhadap produksi sumur. Zona mati ini menandai batas bawah dari zona produktif efektif pada sumur ini. Keberadaan zona mati dapat disebabkan oleh beberapa faktor seperti perbedaan karakteristik batuan formasi atau perubahan permeabilitas *reservoir* [12]. Potensi adanya *scale deposition* yang menutup zona permeabel juga dapat menjadi penyebab [16].

Implikasi dari keberadaan zona mati ini penting untuk manajemen produksi sumur. Zona mati yang tidak berkontribusi terhadap produksi menunjukkan bahwa zona produktif efektif sumur hanya sampai kedalaman 1500 mMD. Informasi ini berguna untuk beberapa aspek operasi sumur. Pertama, untuk penempatan peralatan *downhole* seperti *slotted liner* atau *production casing* [12]. Kedua, untuk perencanaan *workover* atau stimulasi sumur [15]. Ketiga, untuk monitoring produksi [16].

D. Perbandingan dengan Studi Sebelumnya dan Pengaplikasian

Hasil karakterisasi feedzone memberikan informasi fundamental untuk merancang program *acidizing* yang tepat sasaran dan *cost-effective*. *Acidizing* merupakan salah satu metode stimulasi sumur yang bertujuan meningkatkan permeabilitas zona produktif dengan melarutkan mineral yang menyumbat pori-pori atau fracture menggunakan larutan asam [15]. Keberhasilan program *acidizing* sangat bergantung pada pemahaman detail karakteristik target zona, termasuk kedalaman, ketebalan, dan kondisi permeabilitas awal.

Berdasarkan analisis kontribusi feedzone, dapat dirancang strategi *acidizing* yang optimal dengan memprioritaskan zona yang memberikan *return on investment* terbaik. Feedzone 2 yang berkontribusi 41,6% dari total produksi dengan ketebalan zona 18 meter merupakan target prioritas utama untuk program *acidizing*. Improvement produktivitas pada zona ini akan memberikan dampak paling signifikan terhadap peningkatan produksi total sumur [12]. Penempatan *packer* pada kedalaman 1350 mMD dan 1380 mMD akan mengisolasi Feedzone 2 dan memastikan larutan asam terinjeksi tepat pada interval 1356-1374 mMD tanpa terbuang ke zona lain.

Feedzone 3 dengan kontribusi 31,1% dapat menjadi target sekunder untuk program *acidizing* tahap kedua jika treatment pada Feedzone 2 menunjukkan hasil positif. Ketebalan zona 15 meter pada interval 1474-1489 mMD memberikan target yang cukup lebar untuk treatment acid. Feedzone 1 meskipun berkontribusi 27,3%, dapat dipertimbangkan untuk treatment jika analisis ekonomi menunjukkan kelayakan, mengingat posisinya yang paling dangkal memudahkan operasi intervensi [15].

Strategi *acidizing* yang disarankan mencakup beberapa tahapan. Tahap pertama adalah *acid treatment* pada Feedzone 2 menggunakan volume 3-5 m³ larutan HCl 15% dengan perhitungan berdasarkan ketebalan zona 18 meter. Tahap kedua adalah monitoring *post-treatment* menggunakan survei PTS ulang untuk mengukur peningkatan kontribusi aliran. Tahap ketiga adalah evaluasi ekonomi untuk menentukan kelayakan *treatment* pada Feedzone 3 dan Feedzone 1 berdasarkan hasil treatment pertama [12].

Hasil penelitian ini menunjukkan konsistensi dengan studi-studi PTS yang dilakukan di lapangan geothermal lain di Indonesia. Penelitian di lapangan Kamojang menunjukkan pola yang serupa dalam hal karakteristik zona produktif dan pentingnya identifikasi feedzone detail untuk program stimulasi [15]. Studi tentang karakterisasi feedzone di berbagai sumur geothermal menunjukkan bahwa metode PTS efektif dalam mengidentifikasi zona produktif dan non-produktif [8].

Aplikasi praktis dari hasil penelitian ini mencakup beberapa aspek manajemen lapangan. Pertama, informasi tentang lokasi, ketebalan, dan kontribusi feedzone dapat digunakan untuk optimasi strategi produksi dan planning intervensi sumur [11]. Kedua, pemahaman tentang zona mati membantu dalam efisiensi investasi dengan menghindari treatment pada zona yang tidak produktif [15]. Ketiga, data PTS baseline ini berharga untuk program monitoring jangka panjang dan dapat digunakan untuk evaluasi perubahan produktivitas *feedzone* seiring waktu operasi [16].

Data PTS seperti yang diperoleh dalam penelitian ini dapat digunakan untuk validasi model simulasi wellbore dan perencanaan strategi produksi jangka panjang [10]. Integrasi data PTS dengan data geologi dapat memberikan pemahaman yang lebih komprehensif tentang kontrol struktur terhadap distribusi permeabilitas reservoir [16]. Pemahaman tentang distribusi feedzone dan karakteristik aliran fluida juga penting untuk mencegah masalah operasional seperti *scaling* dengan mengidentifikasi zona yang rentan terhadap deposisi mineral [12].

4. SIMPULAN

Survei PTS yang dilakukan pada sumur produksi di Lapangan REX berhasil mengidentifikasi tiga feedzone produktif dengan karakteristik berbeda pada interval kedalaman 1063-

1075 mMD (Feedzone 1), 1356-1374 mMD (Feedzone 2), dan 1474-1489 mMD (Feedzone 3) dengan total laju alir produksi 7,7 kg/s. Feedzone 2 teridentifikasi sebagai kontributor utama dengan laju alir 3,2 kg/s (41,6%), diikuti Feedzone 3 sebesar 2,4 kg/s (31,1%), dan Feedzone 1 sebesar 2,1 kg/s (27,3%). Zona produktif efektif berada pada interval 1069-1500 mMD dengan total ketebalan zona aktif 45 m dalam interval 431 m, yang ditandai dengan penurunan tekanan bertahap dari 74,83 bar menjadi 67,99 bar, penurunan suhu akibat flashing dari 296,5°C menjadi 286,2°C, dan peningkatan laju alir fluida dari 2,1 kg/s hingga 7,7 kg/s. Ditemukan zona mati (*dead zone*) di bawah kedalaman 1500 mMD yang ditandai dengan tekanan konstan 67,99 bar, kenaikan suhu signifikan mencapai 302,0°C, dan tidak adanya kontribusi aliran. Karakteristik reservoir menunjukkan sistem *two-phase flow* dengan dominasi uap pada bagian atas *wellbore* akibat proses *flashing*, sementara bagian bawah didominasi oleh *liquid phase* dengan suhu tinggi namun tidak produktif.

Berdasarkan hasil penelitian, disarankan untuk melakukan program *acidizing* dengan prioritas pada Feedzone 2 mengingat kontribusinya yang dominan (41,6%) terhadap total produksi, serta melakukan monitoring berkala menggunakan survei PTS ulang setelah 6-12 bulan untuk mengevaluasi perubahan karakteristik feedzone dan efektivitas program stimulasi. Perlu dilakukan survei PTS pada sumur-sumur produksi lainnya di Lapangan REX untuk memahami distribusi zona produktif secara regional dan mengidentifikasi potensi pengembangan sumur baru. Untuk optimasi produksi jangka panjang, diperlukan kajian mendalam terhadap penyebab zona mati di bawah 1500 mMD untuk mengevaluasi potensi reaktivasi zona tersebut, serta integrasi data PTS dengan data geologi, geofisika, dan geokimia untuk pemodelan reservoir yang lebih komprehensif guna mendukung strategi pengembangan lapangan yang optimal dan berkelanjutan.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. Grant and J. W. Lund, "Geothermal energy: Renewable energy and the environment," CRC Press, 2011.
- [2] R. DiPippo, "Geothermal power plants: Principles, applications, case studies and environmental impact," Butterworth-Heinemann, 2012.
- [3] Kementerian ESDM, "Indonesia Geothermal Potential and Development," Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi, Jakarta, 2020.
- [4] M. P. Hochstein and S. Sudarman, "History of geothermal exploration in Indonesia from 1970 to 2000," *Geothermics*, vol. 37, no. 3, pp. 220-266, 2008.
- [5] M. Grant and P. Bixley, "Geothermal reservoir engineering," Academic Press, 2011.
- [6] M. S. Hochstein and P. H. Nicholson, "Temperature and pressure logging techniques in geothermal wells," *Geothermics*, vol. 41, no. 1, pp. 47-58, 2019.
- [7] A. Rasyid, E. Prastio, and K. Kevin, "Analisa Perilaku Reservoir Geothermal Menggunakan Metode Pressure, Temperature, Spinner (PTS) dan Gross Permeability Test," *Syntax Idea*, vol. 5, no. 10, pp. 1800-1811, Oct. 2023.
- [8] F. Islami Phasya, N. N. H. Afif, R. Laksmi Sari, and H. Abror, "Feed Zone Characterization Based on PTS Flowing Data and Geological Data of Well Drilling A Field B," *Journal of Petroleum and Geothermal Technology*, vol. 5, no. 2, 2024.
- [9] F. Fatma, S. Johanis, and A. Rohani, "Penentuan Fluid Velocity dan Flow Rate Sumur LHD-SY, Wilayah Kerja Panas Bumi Lahendong Berdasarkan Survei PTS Logging," *PETROGAS: Journal of Energy and Technology*, vol. 6, no. 2, pp. 32-41, Oct. 2024.
- [10] A. Sofyan, Y. D. G. Bujang, and B. Y. Suranta, "Heat loss effect analysis by using JIWAFlow wellbore simulation in geothermal field Well-Y," in *3RD BOROBUDUR INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SCIENCE AND TECHNOLOGY 2021*, AIP Publishing LLC, vol. 2706, no. 1, p. 020116, May 2023.

- [11] A. Sofyan, H. S. Aka, B. Y. Suranta, and S. M. A. Ratasya, "Analysis of Scale Saturation Index (SSI), Scale Formation Rate, and Scale Formation Time Based on Geothermal Production Well Head Pressure at Well 'X'," *Indonesian Journal of Energy and Mineral*, vol. 1, no. 1, pp. 26-33, 2021.
- [12] A. Sofyan, S. Wiharti, J. Szanyi, B. Yudho Suranta, and R. Njeru, "Determination of Scaling Zone and Scaling Type in Slotted Liner Based on the Fluid Flow Pattern in the Geothermal Well 'X'," *International Journal of Renewable Energy Research*, vol. 13, no. 1, pp. 276-286, 2023.
- [13] A. Sofyan, Y. D. G. Bujang, and D. C. Dewi, "Analysis Of The Z Well Production Test Using The Horizontal Lip Pressure Method At Pt. Pertamina Geothermal Energy Ulubelu Area," *Indonesian Journal of Energy and Mineral*, vol. 3, no. 1, pp. 40-55, 2023.
- [14] A. Sofyan, R. Jaya, H. Susanto, R. M. Njeru, G. Bozsó, and J. Szanyi, "Scale Treatment Planning Using Broaching Method in a Vapor-Dominated Geothermal Well X at Kamojang Geothermal Field," *Eng*, vol. 6, no. 4, p. 67, 2025.
- [15] A. Sofyan, "Scale formation and treatment plan in Indonesian geothermal wells," Doctoral dissertation, University of Szeged, 2025.
- [16] A. Sofyan, H. S. Aka, A. M. Rizaldy, and B. Y. Suranta, "Development of Indonesian Wellhead Generating Unit (Small Scale) Based on Legal and Regulation of PT. Geo Dipa Dieng: A Case Study," in *2nd Borobudur International Symposium on Science and Technology (BIS-STE 2020)*, Atlantis Press, pp. 72-82, Aug. 2020.
- [17] A. Sofyan, J. Szanyi, and A. S. Hari, "Investigation of Zone and Type of Scaling Based on the Fluid Flow Pattern in the Geothermal Well 'X' at the Salak Geothermal Field-Indonesia," *International Journal of Renewable Energy Research*, vol. 14, no. 1, pp. 192-202, 2024.
- [18] T. Wibowo and D. Priyanto, "Geothermal reservoir evaluation using temperature and spinner logging data," *Journal of Petroleum and Geothermal Technology*, vol. 4, no. 1, pp. 50-59, 2021.