

INVESTIGASI MULTIDISIPLIN TERHADAP KEBOCORAN SUMUR TA PADA LAPANGAN PATUHA

Trisya Amanda Nur Rahma¹, Henk Subekti^{1*}, Hendy Sujarmaitanto², Akhmad Sofyan^{1,3}

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

²PT. Geo Dipa Energi, Gedung Aldevco Octagon Jl. Warung Jati Barat No.75, Jakarta Selatan, 12740

³Department of Geology Faculty of Earth Science, University of Szeged Hungary, 13 Dugonics Square, Szeged, 6720

*E-mail: henksubekti@gmail.com

ABSTRAK

Lapangan Patuha merupakan salah satu lapangan dengan tipe dominasi-uap yang mulai beroperasi sejak bulan September tahun 2014. Mayoritas sumur produksi pada lapangan ini memiliki *steam fraction* 100%, namun Sumur TA yang merupakan bagian dari Sumur Produksi Unit 1 menunjukkan anomali dengan kemunculan air yang ikut terproduksi secara terus menerus semenjak sumur ini diproduksi. Objektif penelitian ini adalah untuk melakukan observasi terhadap *evidence* serta *Root Cause Analysis (RCA)* munculnya fraksi air pada Sumur TA. Metode analisis yang digunakan meliputi integrasi data secara komprehensif dengan mengumpulkan informasi melalui *Pressure Temperature Spinner (PTS) Logging Survey*, *Magnetic Thickness Detector (MTD) Survey*, *Downhole Video (DHV)*, dan Pengukuran *Tracer Flow Test (TFT)*, serta analisis sampel geokimia air di permukaan berupa *Separated Water (SPW) dari Bottom Sampling Port*. Hasil evaluasi geokimia menyatakan bahwa air yang ikut terproduksi merupakan produk air dari permukaan (air meteorik) dengan tipe air sulfat yang kemudian masuk ke *wellbore* akibat terdapatnya kebocoran pada *casing* di kedalaman 163 mMD.

Kata kunci: Analisis Geokimia, Kebocoran *Casing*, Lapangan Dominasi Uap, Lapangan Patuha, Panas Bumi

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang diberkahi dengan potensi panas bumi yang besar. Di kutip dari pernyataan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) Bahlil Lahadalia pada *Indonesia International Geothermal Convention and Exhibition (IIGCE) 2025*, Indonesia adalah salah satu pusat panas bumi terbesar di dunia, hanya berada di urutan kedua setelah Amerika Serikat [1]. Salah satu lapangan panas bumi yang menjadi bagian dari potensi panas bumi tersebut merupakan Lapangan Patuha yang berlokasi di Wilayah Kerja Panas Bumi (WKP) Pangalengan, sekitar 50 km di barat daya, Kota Bandung, Jawa Barat. Sumur TA merupakan salah satu sumur produksi yang berada di Lapangan Patuha dan dikelola oleh PT Geo Dipa Energi (Persero). Sumur ini merupakan bagian dari Unit 1 dan ikut diproduksi sejak tahun 2014 dengan kapasitas Unit 1 sebesar 1 x 55 MW (Gambar 1).

Lapangan Patuha merupakan salah satu dari lapangan dengan tipe dominasi-uap. Namun, sejak dilakukan produksi pada tahun 2014, Sumur TA memproduksi fluida dua-fasa yang terdiri dari fraksi uap dan fraksi air, hal yang tidak wajar terjadi pada lapangan dengan tipe dominasi-uap. Hasil pengukuran TFT tahun 2018 pada sumur TA menunjukkan laju alir uap dengan nilai sebesar 24,4 t/h, namun juga menunjukkan laju alir air yang tinggi dengan nilai sebesar 24,9 t/h, dengan karakteristik nilai entalpi yang cukup rendah untuk kategori uap kering di lapangan dengan tipe dominasi-uap seperti Lapangan Patuha yaitu senilai 1749 kJ/kg. Melalui hasil perhitungan dari pengukuran *Tracer Flow Test (TFT)*, dapat terlihat melalui Tabel 1 bahwa fraksi

uap dari Sumur TA pada tahun 2018 hanya sebesar 50% dan fraksi air sebesar 51%. Melalui *monitoring* sumur, kondisi yang terlihat sebagai anomali ini terus berlanjut hingga tahun 2019 dan tahun 2020.



Gambar 1. Gambar Lapangan Patuha [2]

Tabel 1. *History Produksi Sumur TA*

Lokasi	Tanggal	FCV (%)	WHP		Laju Alir Uap	Laju Alir Air	Entalpi	TMF	Fraksi Uap	Fraksi Air
			psig	barg	TFT	TFT	kJ/kg	t/h		
TA	21/02/2018	100	120	8,3	24,4	24,9	1749	49,3	0,50	0,51
	24/09/2019	100	120	8,3	29,3	24,7	1836	54,0	0,54	0,46
	09/09/2020	100	110	7,6	27,2	24,2	1809	51,5	0,53	0,47

Keberadaan *water production* yang signifikan pada sistem *vapor-dominated* mengindikasikan anomali yang dapat disebabkan oleh *cold water influx* dari *aquifer* dangkal melalui *fracture networks*, atau *casing integrity failure* yang memungkinkan *groundwater entry* [3],[4]. Investigasi komprehensif diperlukan untuk mengidentifikasi *root cause* dan lokasi spesifik kebocoran, mengingat dampak ekonomi yang signifikan terhadap efisiensi produksi dan *revenue loss*. Penelitian ini lebih berfokus kepada observasi terhadap *evidence* serta *Root Cause Analysis (RCA)* munculnya fraksi air pada sumur TA, yang pada penelitian sebelumnya disebut sebagai sumur HND-A [2].

2. METODE

Untuk menganalisis penyebab adanya kemunculan air pada sumur TA, dilakukan investigasi secara sistematis terhadap sumur. Metode yang digunakan adalah integrasi data dengan

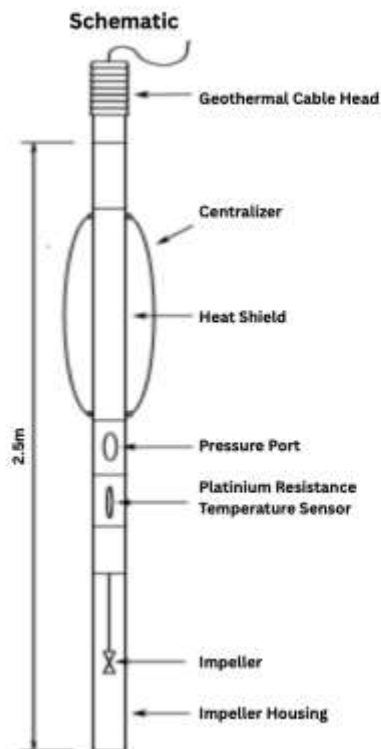
melalui pengumpulan informasi pada sumur TA. Pengumpulan informasi ini dilakukan melalui *Pressure Temperature Spinner (PTS) Logging Survey*, *Magnetic Thickness Detector (MTD) Survey*, dan *Downhole Video (DHV)*. Pada sumur ini juga dilakukan pengumpulan informasi melalui *Tracer Flow Test (TFT)* dan analisis geokimia menggunakan sampel *Separated Water (SPW)* untuk menelusuri *Root Cause Analysis (RCA)* terjadinya kemunculan air. Pendekatan bertahap ini dipilih berdasarkan *progressive hypothesis refinement* dari *PTS* untuk mengidentifikasi anomali *thermal* dan *flow*, kemudian *MTD/DHV* untuk konfirmasi lokasi *casing failure*, dan *TFT* serta *geochemical analysis* untuk karakterisasi *water source*.

A. Pressure Temperature Spinner (PTS) Logging Survey

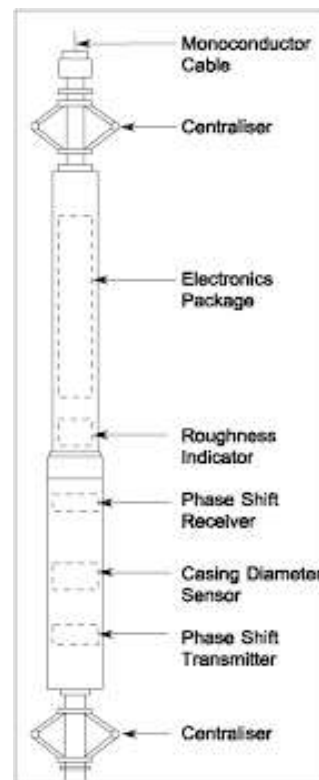
PTS Logging Survey merupakan serangkaian survei yang dijalankan untuk mengkaraktirasi wujud aliran dan memberikan informasi yang diperlukan untuk mengubah kecepatan *spinner* yang akan merekam laju alir fluida. Kecepatan putaran *spinner* dicatat sebagai *Rotation per second* (rps). Frekuensi putaran *spinner* berbanding lurus terhadap kecepatan fluida satu fasa di dalam sumur [5]. Informasi yang diberikan berupa data tekanan, suhu, dan laju alir dari fluida yang dicatat oleh *spinner* [6]. Objektif *PTS Logging Survey* adalah untuk mengidentifikasi lokasi *feed zone*, sekaligus laju alir dan *enthalpy* di setiap zone dengan *survey output* berupa *log chart*, sehingga dapat diketahui kontribusi dari setiap *feed zone* [7]. Pada penelitian ini *PTS* dilakukan pada *flowing condition* dan dengan tujuan untuk menampilkan temperatur dan data rotasi *spinner*. *Survey* dilakukan untuk mengidentifikasi zona anomali berdasarkan *temperature drop* dan perubahan *spinner rotation* yang mengindikasikan *additional fluid entry*. Peralatan untuk *PTS* dapat dilihat pada Gambar 2.

B. Magnetic Thickness Detector (MTD) Survey

MTD Survey dilaksanakan pada tahun 2018 untuk menindaklanjuti hasil dari *PTS*. *MTD* merupakan alat pengukur korosi yang umumnya dijalankan melalui *tubing*, dengan kemampuan untuk memeriksa *tubing* sekaligus *casing* di belakangnya secara bersamaan, seperti tampak pada Gambar 3. Pada penelitian ini, *MTD survey* dilaksanakan hingga kedalaman 855 mMD dengan objektif untuk menentukan integritas *casing* produksi. Alat *MTD* dijalankan secara *real time* dan mampu dioperasikan hingga temperatur 320°C (*high temperature*) dan tekanan sampai 2900 psi (*high pressure*). Integritas *casing* produksi ini ditentukan menggunakan persentase kehilangan ketebalan logam (*average metal loss*) pada setiap interval kedalaman. *Phase shift transmitter* dan *phase shift receiver* memiliki jarak yang di tengahnya terdapat *casing diameter sensor*. Pengukuran *phase shift* dapat mengukur ketebalan *casing* saat ini dengan berkurangnya fase yang menandakan grafik *metal loss* ke arah kiri dan apabila terdapat kenaikan massa logam grafik akan condong ke arah kanan. *Differential Caliper* merupakan sensor yang dapat mengenali resonansi berbeda dan mencirikan terdapat metal yang teralterasi. Sementara *roughness indicator* merupakan pendeteksi korosi yang efektif untuk mempelajari dinding *casing* dari kerusakan kecil. [8] Metode ini penting untuk mengidentifikasi zona korosi yang dapat menjadi *potential leak point*, terutama pada area dengan *metal loss* >40% yang mengindikasikan *severe corrosion* [9].



Gambar 2. Alat Instrumentasi PTS [10]



Gambar 3. Alat Instrumentasi MTD [8]

C. Downhole Video (DHV) Survey

Downhole Video Survey (DHV) pada Gambar 4 adalah alat instrumen kamera dengan metode visual in-situ yang diturunkan ke dalam sumur untuk melihat langsung kondisi lubang sumur dan biasanya digunakan untuk mengamati kondisi dinding lubang sumur, *casing*, dan untuk melihat apakah terjadi sumbatan atau *scale* pada sumur [11]. Pada penelitian ini, digunakan alat instrumen *Downhole Video* yang memiliki *side view camera* dan *forward view camera*. *Side view camera* dan *forward view camera* memungkinkan instrumen untuk melihat lubang sumur dari semua sudut dan memungkinkan untuk memperoleh informasi yang lebih akurat mengenai penampakan pada lubang sumur. Beberapa instrumen *DHV* memungkinkan pengguna untuk memperoleh penampakan lubang sumur 360°. Sebelum melaksanakan *DHV Survey*, dilakukan *quenching* untuk menurunkan *temperature wellbore*. Setelah muncul *water level* pada sumur, *DHV Survey* akan dilaksanakan. *DHV* memberikan konfirmasi visual langsung terhadap hasil *MTD*, terutama untuk memverifikasi keberadaan *actual casing breach* pada zona dengan korosi tinggi.



Gambar 4. Alat Instrumentasi DHV[12]

D. Tracer Flow Test (TFT)

TFT Seperti pada Gambar 5 merupakan metode untuk menghitung laju alir fluida (*steam* dan *liquid*) menggunakan zat perunut (*tracer*) sehingga dapat diketahui juga *dryness* dan *enthalpy* dari suatu sumur [13]. Pelaksanaan TFT dilakukan dengan melakukan injeksi *tracer* dari *side valve* maupun *top valve* (*injection point*) dari sumur produksi yang kemudian dilakukan pengambilan sampel melalui *port sampling* (*sampling point*). Jenis *tracer* yang digunakan umumnya untuk fasa *steam* adalah SF6 dan fasa *liquid* adalah PTSA. *Output* dari pelaksanaan TFT untuk penelitian ini adalah mengetahui nilai *dryness value* dan juga nilai *enthalpy* untuk mengkuantifikasi kontribusi *cold water influx* terhadap *total fluid production*.



Gambar 5. Mekanisme TFT

E. Analisis Geokimia Sampel Air / *Separated Water (SPW)*

Sampel *Separated Water (SPW)* diambil dari *bottom port sampling* (Gambar 6). Analisis awal sampel *SPW* dilakukan dengan menggunakan pHmeter, *conductivity meter*, dan *Total Dissolve Solides (TDS) meter* (Gambar 7). Hasil analisis awal dari sampel *SPW* dengan pHmeter, *conductivity meter*, dan *Total Dissolve Solides (TDS) meter* digunakan sebagai indikasi awal dalam evaluasi kualitas fluida dan potensi terjadinya pencampuran pada fluida. Nilai pH digunakan untuk melihat kecenderungan sifat korosif atau kecenderungan terjadinya pengendapan mineral pada fluida. *Conductivity meter* menentukan kemampuan fluida dalam menghantarkan listrik, berhubungan dengan jumlah ion dan mineral yang terdapat di dalam sampel *SPW*. Parameter TDS yang merupakan turunan dari *conductivity meter* merepresentasikan jumlah total kandungan padatan terlarut yang terdapat pada *SPW* dan digunakan untuk melihat tingkat kemurnian pada sampel (kecenderungan apakah fluida murni dari reservoir atau apakah terdapat pencampuran dengan fluida dari permukaan) [14].



Gambar 6. Ilustrasi *Top & Bottom Sampling Port*



Gambar 7. Conductivity Meter dan pH Meter Instrument

Kemudian analisis geokimia di laboratorium dilakukan untuk menentukan kandungan mineral yang terdapat pada sampel. Hasil analisis ini kemudian digunakan untuk integrasi data dengan pengukuran-pengukuran yang dilakukan sebelumnya untuk menentukan asal usul kemunculan fluida pada sumur produksi. Parameter yang dianalisis meliputi *major ions* (Na, K, Ca, Mg, Cl, SO₄) untuk karakterisasi *water type* dan identifikasi *mixing* dengan *groundwater*. *Presence of Mg >1 ppm* mengindikasikan kontaminasi dari *shallow aquifer* karena Mg umumnya absen dalam *deep geothermal fluids* [3].

3. PEMBAHASAN

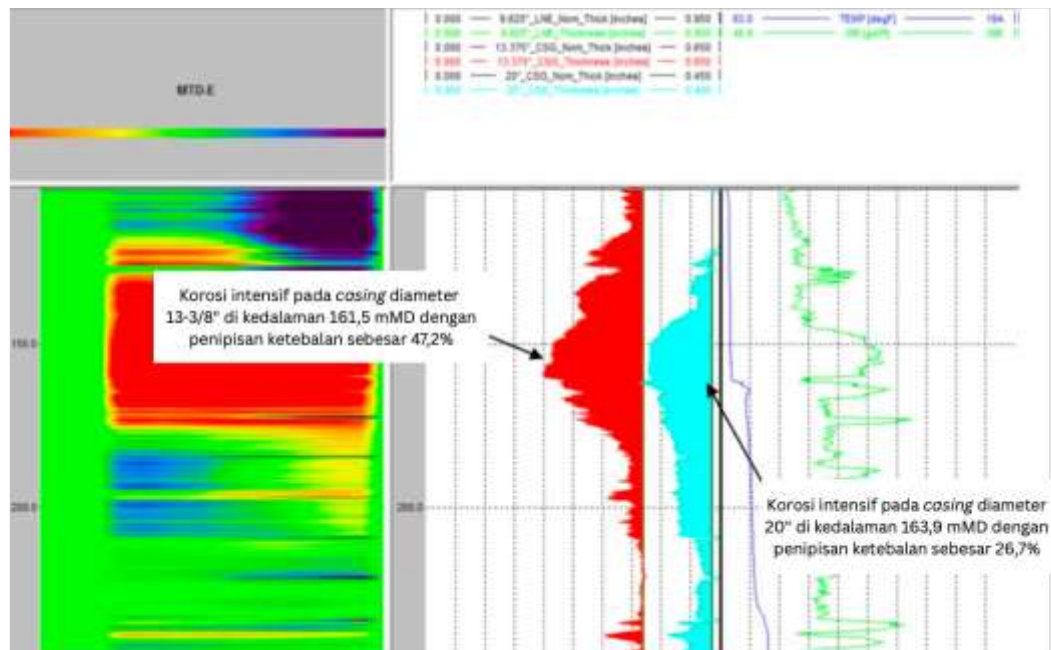
A. Hasil *Pressure Temperature Spinner (PTS) Logging Survey*

Berdasarkan data temperatur yang menunjukkan adanya penurunan dan data *spinner* yang menunjukkan perubahan rotasi menjadi lebih tinggi dibanding *logging* sebelumnya, diperoleh hipotesa bahwa adanya kebocoran *casing* di sekitar kedalaman 163 mMD. Data PTS menunjukkan *spinner rotation* mengalami peningkatan pada kedalaman 163 mMD, mengindikasikan *additional fluid entry*. *Temperature profile* juga menunjukkan *cooling effect* pada zona ini, konsisten dengan *cold water influx*. Lalu, kemudian digunakan separator untuk mengatasi air yang ikut terproduksi bersama uap sebagai *temporary mitigation measure*.

B. Hasil *Magnetic Thickness Detector (MTD) Survey* dan *Downhole Video (DHV)*

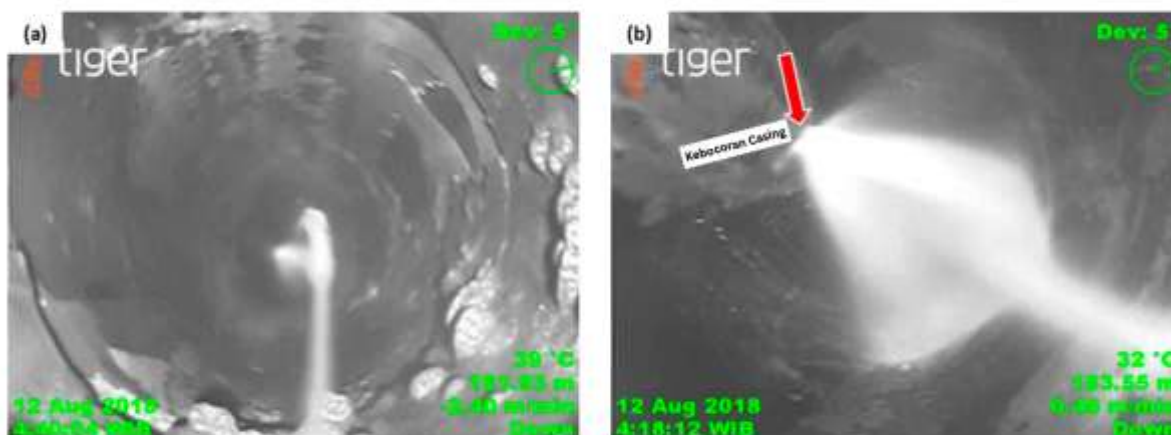
Setelah *PTS Logging Survey*, dioperasikan *MTD Survey* dan *DHV* dengan hasil seperti pada Gambar 8. *MTD Survey* dilaksanakan hingga kedalaman 855 mMD. Hasil *MTD* yang dihitung menggunakan rata-rata *metal loss* per kedalaman menunjukkan bahwa terdapat korosi senilai 47,2% pada *casing* produksi di kedalaman 161,5 mMD dengan diameter *casing* sebesar 13-3/8". Lalu juga terdapat korosi senilai 26,7% pada *casing* intermediet di kedalaman 163,9 mMD dengan diameter *casing* sebesar 20". Melalui Gambar 8, dapat diamati bahwa terdapat bagian yang tidak stagnan pada grafik berwarna merah dan biru, menandakan zona yang mengalami korosi secara signifikan. Berdasarkan *API 5CT specification*, *casing* 13-3/8" K-55 grade

memiliki nominal *wall thickness* 9,65 mm. *Metal loss* 47,2% setara dengan *thickness reduction* 4,55 mm, menyisakan 5,10 mm atau 53% dari *original thickness*, sudah berada di bawah *safety threshold* 80% untuk *geothermal operations*. Berdasarkan hasil MTD diindikasikan bahwa terdapat air dingin (*cold water influx*) yang masuk secara lateral dari formasi ke lubang sumur.



Gambar 8. Profil Ketebalan Dinding Casing [2]

Pada tahun yang sama, dilaksanakan *Downhole Video Survey* untuk memperoleh gambaran keadaan lubang sumur secara langsung, terutama pada *casing* di kedalaman dengan hipotesa terdapat kebocoran melalui MTD sebelumnya. Hasil dari *survey* menunjukkan bahwa pada *casing* di kedalaman 161,5 mMD area terlihat masih utuh, padahal area ini sebelumnya dicurigai mengalami kebocoran karena adanya penipisan ketebalan (korosi) senilai 47,2% (*severe corrosion*). Namun, terdapat kebocoran *casing* yang ditemukan secara visual melalui DHV pada kedalaman 163,55 mMD dengan korosi intensif senilai 45,7% (Gambar 9). Hasil pengamatan ini membuktikan bahwa hipotesa sebelumnya yang menyatakan bahwa diduga terdapat kebocoran *casing* adalah benar, dan apabila dianalisis secara alur air dingin masuk secara lateral melalui formasi, melalui *conductor casing* 20", dan masuk ke lubang sumur melalui *casing produksi* 13-3/8". *Discrepancy* antara MTD results (korosi maksimal 161,5 mMD dan *actual leak location* (163,55 mMD berdasarkan *DHV*) menunjukkan pentingnya *visual confirmation* karena MTD bisa salah mengidentifikasi lokasi yang tepat karena adanya ketidakpastian dalam pengukuran $\pm 2\%$.



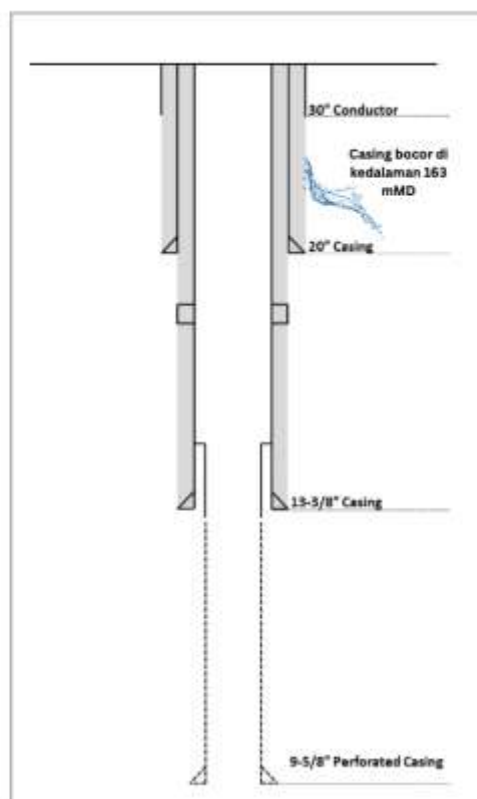
Gambar 9. A. Kondisi Sumur Pada Kedalaman 161,5 mMD, B. Kondisi Sumur Pada Kedalaman 163,55 mMD [2]

C. Hasil *Tracer Flow Test* (TFT) dan Analisis Geokimia

Hasil dari TFT menyatakan bahwa nilai *dryness* pada sumur TA hanya senilai 50%. Nilai *dryness* yang hanya 50% menunjukkan kontribusi yang signifikan dari *cold water influx* yang muncul akibat adanya kebocoran *casing*. (Gambar 10). Nilai *enthalpy* yang tercatat pada sumur TA pun termasuk yang paling rendah, di antara 1.749 - 1.836 kJ/kg, sangat rendah dibanding sumur produksi di Patuha lainnya yang berkisar di atas 2.500 kJ/kg [15].

Hasil analisis awal SPW menunjukkan bahwa nilai *conductivity* adalah sebesar 127 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dan TDS senilai 150 ppm. Nilai ini tergolong rendah apabila dibandingkan dengan rentang TDS khas fluida reservoir panas bumi yang pada umumnya berkisar di antara 5000-8000 ppm [16]. Nilai *conductivity* dan TDS yang rendah mengindikasikan bahwa kemungkinan fluida telah bercampur dengan air permukaan (*groundwater*) yang memiliki kandungan ion lebih sedikit dibanding fluida *reservoir*. Nilai pH dari pHmeter yang menunjukkan nilai sebesar 6,79 pun mendukung interpretasi tersebut, mengingat bahwa nilai pH tersebut lebih mendekati nilai pH air meteorik yang umumnya senilai 6-7, sementara nilai fluida reservoir panas bumi yang biasanya lebih basa, senilai 7,5-9.

Analisis geokimia laboratorium dari sampel *Separated Water* (SPW) mengindikasikan bahwa air yang ikut terproduksi merupakan *groundwater* dengan karakteristik terdapatnya Magnesium (Mg) yang berkisar antara 3 - 4 ppm. Kehadiran Mg yang senilai 3-4 ppm dan sulfat tinggi mengonfirmasi adanya *mixing* dengan *shallow meteoric water*, karena *deep geothermal fluids* di Patuha umumnya memiliki $\text{Mg} < 0,5$ ppm [2]. *Water type* terklasifikasi sebagai *sodium-chloride sulfate*, berada di *intermediate position* antara *deep reservoir fluid* (Na-Cl type) dan *shallow groundwater* (Ca-Mg-SO₄), memberikan *definitive evidence* dari *meteoric water recharge* melalui *casing breach* [17].



Gambar 10. Ilustrasi Kebocoran Pada Sumur TA [4]

D. Implikasi Operasional

Keberadaan *cold water influx* memberikan dampak signifikan terhadap operasional yaitu menyebabkan penurunan nilai *dryness* pada sumur TA, sehingga kinerja sumur tidak mencapai potensi maksimum. Hal ini berdampak pada *installation separator* memerlukan *additional CAPEX* dan *OPEX*. Selain itu, korosi yang progresif dapat menyebabkan *catastrophic casing failure* jika tidak ditangani. *Recommended remediation* meliputi *casing patch/liner installation* untuk isolasi zona kebocoran, *pressure monitoring* di *annulus* untuk *early detection of progressive failure*, dan *periodic geochemical sampling* untuk *monitoring mixing trend* [18],[9].

4. SIMPULAN

Berdasarkan hasil pengamatan melalui pengukuran *Pressure Temperature Spinner* (PTS) *Logging Survey*, *Magnetic Thickness Detector* (MTD) *Survey*, *Downhole Video* (DHV), *Tracer Flow Test* (TFT), dan analisis geokimia menggunakan sampel *Separated Water* (SPW), diketahui penyebab kemunculan air yang ikut terproduksi di Sumur TA. Melalui hasil integrasi data dapat disimpulkan bahwa fluida yang ikut terproduksi merupakan air permukaan yang masuk melalui kebocoran pada *casing* sumur di kedalaman 163 mMD. Air tersebut masuk melalui *casing* 20" dan menembus *casing* 13-3/8" kemudian *mixing* dengan *reservoir steam* sehingga ikut terproduksi hingga ke permukaan. Investigasi multidisiplin ini berhasil mengidentifikasi *root cause* (*external corrosion-induced casing breach*), lokasi kebocoran (163,55 mMD yang terkonfirmasi *DHV*), dan sumber fraksi air yaitu air meteorik, terkonfirmasi oleh *Mg* 3-4 ppm (*cut-off point* untuk nilai *Mg* pada *reservoir* adalah ≤ 1 ppm). Kemudian berdasarkan hasil investigasi, diputuskan untuk melakukan *workover* pada sumur TA dengan menggunakan *rig* 75 HP dengan objektif melaksanakan *cement plug & squeeze cementing* guna

memperbaiki casing 13-3/8" yang bocor di kedalaman 163 mMD dan memasang casing 9-5/8" (long string) hingga kedalaman 775 mMD (top of liner 9-5/8"), serta melakukan cementing untuk mengamankan sumur dari problematika well integrity issues. Setelah dilakukan workover sumur kembali dioperasikan secara normal tanpa menggunakan separator, dengan nilai steam fraction mencapai 99%.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Arnidhya, Kenzu, "Indonesia ranks second globally in geothermal energy capacity," ANTARA News—<https://en.antaranews.com/news/380545/indonesia-ranks-second-globally-in-geothermal-energy-capacity>. Diakses: 01 Oktober 2025.
- [2] H. Sujarmaitanto, A. P. Wardana, C. Iskandar, R. S. Sesesega, dan M. I. Nurpratama, "Insights on the Water Produced from a Vapor-Dominated System at Patuha Geothermal Field, Indonesia," dalam *Proceedings, 49th Workshop on Geothermal Reservoir Engineering*, Stanford University, Stanford, CA, Feb. 2024.
- [3] A. Sofyan, J. Szanyi, H. S. Aka., "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.
- [4] A. Sofyan, R. Jaya, H. Susanto, R. M. Njeru, G. Bozsó, J. Szanyi., "Scale Treatment Planning Using Broaching Method in a Vapor-Dominated Geothermal Well X at Kamojang Geothermal Field," *GeoEnergy Science and Engineering* 2025, vol. 6, no. 4, Mar. 2025
- [5] N. M. Saptadji., *Teknik Geotermal*, Bandung: ITB Press, 2018, pp. 248.
- [6] A. Rasyid, E. Prastio, dan K., "Analisa Perilaku Reservoir Geothermal Menggunakan Metode Pressure, Temperature, Spinner (PTS) dan Gross Permeability Test," *Syntax Idea*, vol. 5, no. 10, pp. 1801–1812, Okt. 2023.
- [7] N. P. Hardiyani, "Pressure Temperature Spinner (PTS)," Scribd. https://www.scribd.com/embeds/396537925/content?start_page=1&view_mode=scroll&access_key=key-fFexxf7r1bzEfWu3HKwf. Diakses: 27 Oktober 2025.
- [8] "Bab 2: Integritas Casing Sumur Panas Bumi," Digilib ITB. <https://digilib.itb.ac.id/assets/files/disk1/447/jbptitbpp-gdl-roymoneypa-22337-3-2010ts-2.pdf>. Diakses: 28 Oktober 2025
- [9] A. Sofyan, "Scale Formation and Treatment Plan in Indonesian Geothermal Wells," Ph.D. Dissertation, Univ. of Szeged, Szeged, 2025
- [10] E. Yanto, F. E. Marastio, G. Hastriansyah, M. B. Saputra, A. F. Fanani, "Resolving the Shifting of Pressure, Temperature and Spinner Dataset Using Geostatistical Prediction Data Method : In case of Single Error Data Recorded Tools", dalam *Proceedings World Geothermal Congress 2020+1*, Reykjavik, April - Oct. 2021
- [11] J. Waldheim, J. Towers, D. Wilson, dan R. Winmill, "Diagnosing Common Geothermal Well Challenges With High Temperature, High-Resolution Video Technology," *GRC Transactions*, vol. 47, 2023.
- [12] "Kateye™ Downhole Video Tool - Downview & Sideview Controllable in Real Time," Katwell Energy. <https://www.linkedin.com/pulse/kateye-downhole-video-tool-view-angle-controllable-real-zhang>. Diakses: 09 Oktober 2025.
- [13] Amira, S. Kasmungin, dan K. Pudyastuti, "Analisis Konektivitas Sumur di Lapangan Panas Bumi Yanara Berdasarkan dari Hasil Tracer Test," dalam *Seminar Nasional Cendekiawan ke-5 2019, Buku 1: Teknologi dan Sains*, Oct. 2019
- [14] A. F. Rusydi, "Correlation between conductivity and total dissolved solidin various type of water: A review," dalam *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2017.
- [15] P. Hirtz dan J. Lovekin, "Enthalpy and Mass Flowrate Measurements for Two-Phase Geothermal Production," dalam *Proceedings Workshop on Geothermal Reservoir Engineering*, Stanford Geothermal Program, CA, 1993.

- [16] A. Daniel Hill, *Production Logging: Theoretical and Interpretive Elements*, 2nd ed. Texas: Society of Petroleum Engineers, 2021.
- [17] W. F. Giggenbach, "Application of Geochemistry in Geothermal Reservoir Development," UNDP Publication, 1991.
- [18] A. Sofyan, S Wiharti, J. Szanyi, B. Y. Suranta, 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.