ANALISA BHA TRAYEK INTERMEDIATE 12 ¼" PADA SUMUR X PT. PERTAMINA GEOTHERMAL ENERGY AREA ULUBELU

Ezra Jeremia Nathanael[1], Bambang Yudho Suranto [1*],Achmad Jeffry Aufar B. D.[1]
[1]Teknik Produksi Minyak dan Gas, PEM Akamigas, Jl. Gajah Mada No.38, Blora, 58315
**E-mail*: *yudhosuranta@gmail.com*

ABSTRAK

Penelitian ini menganalisis konfigurasi *Bottom Hole Assembly*, atau BHA, pada trayek *intermediate* 12 ¼ inci di Sumur X. Lapangan geotermal Ulubelu jadi fokusnya. Tujuannya mengevaluasi efektivitas pemboran vertikal lewat perhitungan *Dog Leg Severity,* singkatnya DLS. Ada dua konfigurasi BHA yang dianalisis. Yang pertama, BHA #19, pakai *bit, drill collar, X-Over,* dan *heavy-weight drill pipe.* Ini buat pemboran semen di kedalaman 1147 sampai 1196 meter, dengan WOB 3 ton. Lalu yang kedua, BHA #20, lebih kompleks. Ada mud motor, stabilizer, NMDC, sama jar. Digunakan di kedalaman 1196 sampai 1240 meter, WOB-nya 9 ton. Kedua BHA ini pakai tipe *pendulum assembly.* Hasilnya menunjukkan sumur punya profil vertikal yang bagus. DLS maksimum cuma 1,13 derajat per 30 meter. Itu di bawah ambang batas 3 derajat per 30 meter buat sumur lurus. Jadi, konfigurasi BHA ini berhasil jaga kelurusan lubang sumur sesuai program pemboran. Penelitian ini kasih kontribusi penting buat optimalisasi desain BHA di pemboran sumur geotermal vertikal. Khususnya dalam pilih komponen dan parameter operasi yang pas. Itu buat jaga kelurusan lubang sumur di lapangan geotermal serupa. Penelitian ini memberikan kontribusi penting bagi optimalisasi desain BHA untuk pemboran sumur geotermal vertikal, khususnya dalam pemilihan komponen dan parameter operasi yang tepat untuk mempertahankan kelurusan lubang sumur. Temuan ini dapat diaplikasikan untuk meningkatkan efisiensi dan keamanan operasi pemboran pada lapangan geotermal serupa.

Kata kunci: *Bottom Hole Assembly,* pemboran geotermal, *Dog Leg Severity,* sumur vertikal, *Ulubelu*

1. PENDAHULUAN

Pada saat akan melakukan operasi pemboran *Bottom Hole Assembly* merupakan bagian terpenting saat melakukan proses teresbut. Posisi BHA terletak di bawah *drill pipe* yang berguna untuk menentukan atau mengendalikan mata bor agar sesuai dengan yang dituju, dengan cara mengendalikan arah dari *drill string*. Desain dari BHA juga harus memperhatikan beberapa faktor antara lain jenis formasi, *well trajectory*, WOB, *hole condition*, dan masih banyak faktor lainnya, hal tersebut berpengaruh tehadap desain dari keseluruhan BHA, desain dapat sederhana maupun rumit tergantung pada kondisi lubang bor yang akan dilakukan pemboran [1].

Panas bumi berasal dari induksi magma yang dihantarkan lewat batuan dan berinteraksi dengan air yang mengalir. Dampak dari interaksi batuan panas dengan air yang mengalir menghasilkan uap yang dipergunakan unutk memutar turbin selanjutnya akan dikonversi menjadi listrik [2]. Panas bumi dan energi terbarukan sedang gencar di berbagai negara maju, karena energi terbarukan tidak seperti energi fossil yang jumlahnya terbatas, tetapi untuk energi panas bumi yang termasuk dalam *renewable* sangat menguntungkan karena jumlahnya tidak terbatas [3].

PT Pertamina Geothermal Energy (PGE) merupakan salah satu perusahaan yang pada bidang pemanfaatan energi panas bumi. Untuk meningkatkan produksi panas bumi maka PGE melakukan beberapa pemboran dibeberapa wilayah kerjanya. Sebelum melakukan pemboran

dilakukan beberapa analisis yang berguna untuk menghindari ataupun mengurangi resiko yang ada dilapangan [4].

Tujuan pemboran adalah membor/membuat lobang, menyelesaikan dan mengevaluasi sumur secara efsisien dan aman [5]. Ada beberapa faktor penting yang harus dipertimbangkan dalam operasi pemboran antara lain *cost*, *safety*, dan *usable hole*. Aspek yang paling diutamakan pastinya keselamatan dan keamanan personil yang berada dalam lingkungan kerja, oleh karena itu dilakukan analisis resiko, sehingga dapat menhgurangi resiko yang dapat terjadi [6]. Tujuan dari pemboran vertikal adalah mempertahankan sumur tetap berada dalam posisi lurus, meninimalkan penyimpangan, mengurangi turtositas, dan memastikan energi pemboran efektif (ROP tinggi, getaran yang rendah, umur BHA/bit maksimal), DLS yang dipakai merupakan standar dari industri dikarenakan DLS mengabungkan antara perubahan inklinasi, perubahan azimuth dalam satu nilai yang mewakili. DLS sendiri juga langsung berhubungan dengan resiko dan *mechanical response* maka DLS otomatis juga lebih berguna untuk keputusan operasional dibandingkan dengan azimuth dan inklinasi, DLS juga mudah untuk dikontrol dengan BHA desain, dikarenakan DLS sangat sensitif terhadap penepatan stabilizer, *motor band angle, drill collar stiffness*, dan WOP serta RPM, oleh karena itu DLS bisa dijadikan feedback untuk desain BHA [7].

2. METODE

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif analitis berbasis studi lapangan dan studi literatur. Pendekatan ini dilakukan untuk menganalisis susunan *Bottom Hole Assembly* (BHA) yang digunakan pada trayek intermediate sumur X serta mengevaluasi performa pemboran berdasarkan data aktual di lapangan. Tahapan metodologinya ditunjukkan pada Gambar 1.

Penelitian ini dilaksanakan dengan menggunakan pendekatan deskriptif-analitis yang memadukan hasil observasi lapangan dengan kajian literatur. Pendekatan ini dipilih agar analisis terhadap susunan BHA pada trayek intermediate 12¼ inci dapat dilakukan secara menyeluruh, baik dari sisi teknis maupun operasional. Seluruh data yang digunakan merupakan data aktual pemboran dari Sumur UBL–R2/5 di Lapangan Panas Bumi Ulubelu, sehingga hasil penelitian mencerminkan kondisi dan prosedur pemboran yang benar-benar terjadi di lapangan. [8]

Tahap awal penelitian diawali dengan proses pengumpulan data. Data yang diperoleh mencakup karakteristik sumur, kedalaman pemboran, serta detail trayek lubang bor. Selain itu, data teknis mengenai BHA (termasuk susunan komponen seperti *bit, mud motor, stabilizer, Non-Magnetic Drill Collar* (NMDC)*, drill collar, Heavy Weight Drill Pipe* (HWDP), dan *drilling jar*) dihimpun dari catatan rig dan laporan teknis PT Pertamina Geothermal Energy. Data operasional yang meliputi *Weight on Bit* (WOB), kecepatan putar (RPM), laju alir fluida pemboran, *Standpipe Pressure* (SPP), dan *torque* juga dikumpulkan untuk menganalisis kestabilan operasi selama proses pemboran berlangsung.

Setelah data terkumpul, penelitian dilanjutkan dengan analisis mendalam terhadap konfigurasi BHA yang digunakan pada trayek *intermediate*. Analisis ini dilakukan untuk memahami fungsi setiap komponen serta alasan penempatannya dalam rangkaian pemboran. Penilaian terhadap distribusi stabilizer dan jenis *drill collar* yang digunakan menunjukkan bahwa rangkaian yang dipakai membentuk konfigurasi *Pendulum Assembly*. Desain ini secara khusus digunakan pada pemboran vertikal karena mampu memanfaatkan gaya gravitasi untuk menjaga orientasi mata bor tetap tegak lurus sehingga risiko terjadinya deviasi dapat ditekan.



Gambar 1. *Flowchart* penelitian

Untuk menilai kualitas kelurusan lubang bor, penelitian ini menghitung nilai *Dog Leg Severity* (DLS) menggunakan data survei inklinasi pada interval kedalaman 1239 hingga 1375,5 meter measured depth. Perhitungan DLS dilakukan dengan menggunakan rumus industri yang memperhitungkan perubahan inklinasi dan azimuth antardua titik pengukuran. Parameter DLS ini menjadi indikator penting dalam menilai apakah suatu sumur masih berada dalam batas toleransi deviasi untuk pengeboran vertikal, yaitu kurang dari 3° per 30 meter [9].

Tahap akhir metode penelitian adalah interpretasi hasil analisis. Nilai DLS yang diperoleh kemudian dibandingkan dengan batas standar industri dan dikaitkan dengan desain BHA yang diterapkan. Dari hasil analisis diketahui bahwa nilai DLS maksimum hanya mencapai 1,13°/30 meter, yang berarti sumur berada dalam kondisi sangat lurus dan tidak mengalami penyimpangan signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa konfigurasi BHA yang digunakan serta parameter operasi yang diterapkan telah tepat dan efektif dalam menjaga arah pemboran sesuai dengan desain sumur [10].

Dengan pendekatan ini, penelitian tidak hanya menggambarkan kondisi lapangan secara faktual, tetapi juga memberikan penilaian analitis mengenai efektivitas desain BHA dalam mendukung keberhasilan pemboran vertikal. Untuk menilai kelurusan lubang bor, digunakan persamaan empiris DLS berikut:

$$DLS = \left(\frac{180}{\pi}\right) \times \left[\frac{cos^{-1}(\sin I^1 \sin I^2 \cos(A^2 - A^1) + \cos I^1 \cos I^2)}{\Delta MD}\right] \times 30 \quad (1)$$

Hasil perhitungan DLS dibandingkan dengan batas kelurusan sumur yaitu DLS < 3°/30 m**.**

3. PEMBAHASAN

A. Desain dan Konfigurasi BHA

Sumur UBL–R2/5 merupakan sumur injeksi yang dibor secara vertikal di Lapangan Panas Bumi Ulubelu, Lampung, oleh PT Pertamina Geothermal Energy (PGE) menggunakan Rig PDSI N110M1 hingga kedalaman akhir 2200 meter MD. Tujuan pemboran sumur ini adalah meningkatkan kapasitas injeksi brine dari sumur-sumur produksi PLTP Unit 3 dan 4 sehingga tekanan reservoir tetap stabil dan keberlanjutan produksi dapat terjaga.

Penelitian ini berfokus pada trayek intermediate berukuran 12¼ inci pada interval kedalaman 1239 hingga 1375,5 meter MD. Pada interval ini, formasi didominasi oleh breksi piroklastik dan andesit yang bersifat keras dan abrasif. Kondisi tersebut menuntut pemilihan konfigurasi Bottom Hole Assembly (BHA) yang mampu menjaga arah pemboran tetap vertikal dan meminimalkan deviasi.

Penggunaan mud motor (PDM) pada BHA #20 terbukti meningkatkan performa pemboran berdasarkan data operasional. PDM memberikan putaran tambahan langsung pada bit, sehingga total RPM meningkat melalui kombinasi RPM permukaan dan RPM motor. Peningkatan kecepatan putar ini berkontribusi pada efisiensi pemotongan batuan keras, yang tercermin dari kenaikan nilai ROP menjadi 2,1–11,6 m/mtr dengan rata-rata 5,3 m/mtr—lebih tinggi dibandingkan fase pemboran tanpa motor. Stabilitas SPP dan torque selama operasi juga menunjukkan bahwa energi hidraulik berhasil dikonversi secara efektif menjadi energi mekanik di dasar sumur.

Selain itu, sifat formasi yang abrasif dan menghasilkan gaya lateral besar menuntut desain BHA yang mampu mengoreksi penyimpangan arah. Pendulum Assembly menjadi pilihan tepat karena penempatan stabilizer yang lebih jauh dari bit menghasilkan efek bandul yang membantu menarik kembali rangkaian ke arah vertikal secara alami. Kombinasi antara efek pendulum, penggunaan drill collar yang kaku, serta kontribusi PDM terhadap stabilitas putaran bit memungkinkan BHA mempertahankan kontrol arah secara efektif.

Keberhasilan desain ini dibuktikan oleh nilai Dog Leg Severity (DLS) yang rendah, yaitu 1,13°/30 m, menunjukkan bahwa sumur tetap berada pada lintasan vertikal dengan deviasi minimal. Dengan demikian, pemilihan desain BHA dan penggunaan PDM sudah sangat sesuai untuk kondisi formasi keras yang dijumpai pada trayek intermediate di Lapangan Ulubelu.

BHA #19 – Pembersihan Semen

BHA ini dipakai untuk mengebor sisa semen di bagian bawah casing surface, tepatnya pada kedalaman 1147–1196 meter. Susunan alatnya relatif sederhana, terdiri dari:

- *Bit 12¼ inci*
- *Bit sub*
- *Drill collar*
- *X-over*
- *Heavy Weight Drill Pipe* (HWDP)

Konfigurasi ini digunakan hanya untuk membuka jalur lubang sebelum masuk ke formasi batuan sebenarnya.

BHA #20 – Pemboran Formasi Intermediate

Setelah proses pembersihan selesai, digunakan BHA yang lebih kompleks untuk melanjutkan pemboran formasi utama. Susunannya terdiri dari:

- Bit
- *Positive Displacement Motor* (PDM) atau mud motor
- *Float sub*
- *Stabilizer*
- *Support sub*
- *Non-Magnetic Drill Collar* (NMDC)
- *Drill collar*
- *X-over*
- *HWDP*
- *Drilling jar*

BHA ini dikategorikan sebagai Pendulum Assembly, di mana *stabilizer* ditempatkan agak jauh dari bit agar gravitasi membantu menarik bit tetap ke arah vertikal. Desain seperti ini sangat efektif untuk menjaga sumur tetap lurus, terutama saat mengebor formasi keras yang cenderung mendorong bit ke arah miring.

B. Analisi Parameter Pemboran

Selama pemboran berlangsung harus memperhatikan beberapa aspek, seperti dipaparkan pada Tabel 1. Parameter-parameter tersebut menunjukkan bahwa operasi pemboran berjalan stabil dan efisien**.** Penggunaan mud motor (PDM) terbukti membantu meningkatkan laju pemboran karena bit dapat berputar dengan tenaga tambahan dari bawah, tanpa harus memutar seluruh *drill string*. Selain mempercepat pemboran, hal ini juga mengurangi risiko deviasi dan menjaga arah sumur tetap vertikal.

Tabel 1. Parameter Pemboran

Parameter	Rentang Nilai	Rata-rata
ROP (Rate of Penetration)	2,1 – 11,6 m/mtr	5,3 m/mtr
WOB (Weight on Bit)	2 – 18 ton	10,2 ton
RPM (Rotary Speed)	50–64 (rotary) / 125–155 (motor)	55 / 143
Flow Rate	716–914 gpm	845 gpm
SPP (Standpipe Pressure)	1033–2228 psi	1599 psi

C. Analisis *Dog Leg Severity* (DLS)

Untuk memastikan sumur tersebut lurus atau tidak maka dilakukan analisi *Dog Leg Severity* (DLS) menggunakan data survei inklinasi, menggunakan rumus,

$$DLS = \left(\frac{180}{\pi}\right) \times \left[\frac{cos^{-1}(\sin I^1 \sin I^2 \cos(A^2 - A^1) + \cos I^1 \cos I^2)}{\Delta MD}\right] \times 30 \quad (2)$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai DLS maksimum adalah 1,13° per 30 meter, jauh di bawah batas standar 3°/30 m. Artinya, sumur UBL–R2/5 tergolong lurus dan stabil secara arah. Tidak ada indikasi deviasi yang signifikan selama proses pemboran trayek ini.

D. Evaluasi Efektivitas BHA

Berdasarkan hasil analisis lapangan dan data pemboran, dapat disimpulkan bahwa:

- Desain BHA Pendulum Assembly berhasil menjaga arah pemboran tetap vertikal.
- Nilai DLS rendah (1,13°/30 m) menandakan lubang bor sangat lurus dan tidak mengalami masalah arah.
- Selama operasi, tidak terjadi masalah seperti stuck pipe, over torque, atau abnormal pressure.
- Kombinasi PDM, NMDC, stabilizer, dan HWDP memberikan keseimbangan antara fleksibilitas dan kekakuan rangkaian, sehingga bit tetap bekerja stabil di dasar sumur.

  Dengan performa yang baik ini, susunan BHA dapat dianggap efektif dan efisien untuk pemboran vertikal di formasi breksi piroklastik dan andesit seperti di Lapangan Ulubelu.

E. Pembelajaran dan Implikasi

Dari hasil pembahasan ini, dapat diambil beberapa poin penting:

1. Desain Pendulum Assembly sangat cocok untuk menjaga arah pemboran tetap vertikal pada formasi keras.
2. Penggunaan mud motor memberikan keuntungan besar dalam hal kontrol arah dan efisiensi waktu.
3. Nilai *Dog Leg Severity* yang rendah membuktikan bahwa kombinasi BHA dan parameter pemboran sudah optimal.
4. Ke depan, analisis serupa bisa dilengkapi dengan simulasi BHA menggunakan software seperti *WellPlan* atau DrillSim *untuk memperkirakan performa sebelum pemboran dilakukan.*

4. SIMPULAN

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis konfigurasi *Bottom Hole Assembly* (BHA) pada trayek intermediate 12¼ inci di Sumur UBL–R2/5 serta mengevaluasi kemampuan rangkaian tersebut dalam mempertahankan kelurusan sumur melalui perhitungan *Dog Leg Severity* (DLS). Berdasarkan hasil analisis data lapangan, perhitungan survei inklinasi, serta evaluasi desain BHA, diperoleh beberapa kesimpulan bahwa susunan BHA yang digunakan pada trayek intermediate terbukti tepat dan sesuai dengan kondisi formasi yang keras, yaitu breksi piroklastik dan andesit. Konfigurasi yang diterapkan merupakan tipe *Pendulum Assembly*, di mana penempatan stabilizer yang lebih jauh dari bit memungkinkan rangkaian memanfaatkan gaya gravitasi untuk menjaga orientasi pemboran tetap vertikal. Desain ini terbukti efektif dalam menekan gaya lateral dari formasi keras yang cenderung mendorong bit keluar jalur. Hasil perhitungan *Dog Leg Severity* (DLS) menunjukkan bahwa nilai maksimum yang tercatat adalah 1,13°/30 m, yang berada jauh di bawah batas standar industri, yaitu 3°/30 m untuk pemboran vertikal. Nilai tersebut mengindikasikan bahwa lubang bor berada dalam kondisi sangat lurus dan tidak mengalami penyimpangan arah yang signifikan. Dengan demikian, BHA yang digunakan mampu menjalankan fungsinya dalam menjaga kualitas lintasan pemboran.

Kinerja pemboran selama trayek intermediate didukung oleh parameter operasi yang stabil dan efisien, termasuk WOB, RPM, *flow rate*, serta *standpipe pressure*. Penggunaan mud motor (PDM) juga terbukti meningkatkan efisiensi pemotongan batuan dan mempercepat laju penetrasi (ROP), yang sangat membantu dalam mengebor formasi keras pada interval ini. Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa desain BHA yang digunakan pada trayek intermediate 12¼ inci telah optimal dalam menjaga arah pemboran, mempertahankan kelurusan sumur, dan memenuhi target operasi. Kombinasi konfigurasi *pendulum assembly*, penggunaan mud motor, serta pengendalian parameter pemboran yang tepat berperan penting dalam keberhasilan operasi pemboran vertikal di Lapangan Panas Bumi Ulubelu.

5. DAFTAR PUSTAKA

[1] Bourgoyne, A. T., Millheim, K. K., Chenevert, M. E., & Young, F. S. (2018). *Applied Drilling Engineering* (Vol. 2). Richardson, TX: Society of Petroleum Engineers.

[2] Rabia, H. (2010). *Well Engineering and Construction*. London: Entrac Consulting Limited.

[3] Mitchell, R. F. (2018). *Advanced Oilwell Drilling Engineering: Principles and Practices* (3rd ed.). Tulsa, OK: PennWell Publishing.

[4] Pusch, G. (2011). *Fundamentals of Drilling Technology and Well Design*. Berlin: Springer-Verlag.

[5] Mitchell, R. F., & Miska, S. Z. (2020). *Fundamentals of Drilling Engineering* (2nd ed.). Richardson, TX: Society of Petroleum Engineers.

[6] Aadnøy, B. S., & Cooper, I. (2016). *Advanced Drilling and Well Technology*. Richardson, TX: Society of Petroleum Engineers.

[7] Suharno, A. (2008). *Geologi dan Aktivitas Vulkanik Daerah Ulubelu, Lampung*. Jakarta: Direktorat Panas Bumi, Direktorat Jenderal Energi Baru dan Terbarukan.

[8] S. &. A. H. Rahman, "Analysis of DLS Control in Vertical Wells Using Pendulum Assembly." SPE Drilling & Completion.," 2021.

[9] R. F. &. M. S. Z. Mitchell, "Fundamentals of Drilling Engineering (2nd Edition). Society of Petroleum Engineers.," 2020.

[10] B. S. &. C. I. Aadnøy, Advanced Drilling and Well Technology., SPE Textbook Series. Society of Petroleum Engineers., 2016.

[1] Bourgoyne, A. T., Millheim, K. K., Chenevert, M. E., & Young, F. S. (2018). *Applied Drilling Engineering* (Vol. 2). Richardson, TX: Society of Petroleum Engineers.

Daftar Simbol

I_1, I_2	=	Sudut inklinasi pada dua titik pengukuran (°)
A_1, A_2	=	Sudut azimuth pada dua titik pengukuran (°)
ΔMD	=	Selisih kedalaman measured depth antara dua titik survei (m)
DLS	=	Dog Leg Severity atau tingkat kelengkungan lintasan sumur (°/30 m)
MD	=	Measured Depth, kedalaman terukur sepanjang lintasan lubang (m)
ROP	=	Rate of Penetration, laju pemboran (m/jam atau m/mtr sesuai data)
WOB	=	Weight on Bit, beban yang diberikan pada mata bor (ton)
RPM	=	Revolutions Per Minute, kecepatan putar rotary table dan/atau mud motor (rpm)
SPP	=	Standpipe Pressure, tekanan pada standpipe (psi)
Flow Rate	=	Laju alir fluida pemboran (gpm)
PDM	=	Positive Displacement Motor (mud motor)
BHA	=	Bottom Hole Assembly
HWDP	=	Heavy Weight Drill Pipe
DC	=	Drill Collar
NMDC	=	Non-Magnetic Drill Collar
Jar	=	Drilling jar atau alat pemukul bawah permukaan
Bit	=	Mata bor
Stabilizer	=	Alat penstabil drill string untuk mengontrol arah pemboran
X-over	=	Sambungan peralihan ukuran ulir pipa
PLTP	=	Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi
PGE	=	PT Pertamina Geothermal Energy