

EVALUASI DAN OPTIMISASI PENGGUNAAN *AERATED DRILLING* PADA SUMUR “XX” LAPANGAN PANASBUMI “YY” PERTAMINA GEOTHERMAL ENERGY

SKRIPSI



Disusun Oleh :

MUHAMMAD TSANI FAKHREZI

113140059

**JURUSAN TEKNIK PERMINYAKAN
FAKULTAS TEKNOLOGI MINERAL
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL “VETERAN”
YOGYAKARTA**

2019

EVALUASI DAN OPTIMISASI PENGGUNAAN *AERATED DRILLING* PADA SUMUR “XX” LAPANGAN PANASBUMI “YY” PERTAMINA GEOTHERMAL ENERGY



*Disusun Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Meraih gelar Sarjana Teknik pada
Jurusan Teknik Perminyakan
Fakultas Teknologi Mineral
Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta*

Oleh :

MUHAMMAD TSANI FAKHREZI

113140059 / TM

**JURUSAN TEKNIK PERMINYAKAN
FAKULTAS TEKNOLOGI MINERAL
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL “VETERAN”
YOGYAKARTA**

2019

**EVALUASI DAN OPTIMISASI PENGGUNAAN AERATED
DRILLING PADA SUMUR “XX” LAPANGAN PANASBUMI
“YY” PERTAMINA GEOTHERMAL ENERGY**



Disetujui Untuk
Jurusan Teknik Perminyakan
Fakultas Teknologi Mineral
Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta
Oleh :

Pembimbing I

Pembimbing II

Dr. Ir. Drs. Herianto, MT.

Ir. P. Subiatmono, MT

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Saya menyatakan bahwa judul dan keseluruhan isi dari Skripsi ini adalah asli karya ilmiah saya, dan saya menyatakan bahwa dalam rangka menyusun, berkonsultasi dengan dosen pembimbing hingga menyelesaikan Skripsi ini, tidak pernah melakukan plagiaris terhadap karya orang atau pihak lain baik karya lisan maupun tulisan, baik secara sengaja maupun tidak sengaja.

Saya menyatakan bahwa apabila dikemudian hari terbukti bahwa Skripsi ini mengandung unsur plagiaris dari karya orang atau pihak lain, maka sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya, diluar tanggung jawab Dosen Pembimbing saya. Oleh karenanya saya sanggup bertanggung jawab secara hukum dan bersedia dibatalkan/dicabut gelar kesarjanaan saya oleh Otoritas/Rektor Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta, dan diumumkan kepada khalayak ramai.

Yogyakarta, Agustus 2018

Yang Menyatakan

Muhammad Tsani Fakhrezi

NIM 113140059

Nomor Telepon/HP : +6281322743351
Alamat e-mail : Tsanifakhrezi@gmail.com

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan kekuatan kepada penyusun dan rahmat, taufik serta hidayah-Nya pula, sehingga penyusun dapat menyelesaikan Skripsi ini yang berjudul **EVALUASI DAN OPTIMISASI PENGGUNAAN *AERATED DRILLING* PADA SUMUR “XX” LAPANGAN PANASBUMI “YY” PERTAMINA GEOTHERMAL ENERGY**. Skripsi ini disusun guna memenuhi salah satu syarat untuk dapat mengikuti Skripsi pada Jurusan Teknik Perminyakan, Fakultas Teknologi Mineral, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta.

Pada kesempatan ini, penyusun mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Dr. Drs. M. Irhas Effendi, M.S., selaku Rektor UPN “Veteran” Yogyakarta.
2. Dr. Ir. Suharsono, M.T., selaku Dekan Fakultas Teknologi Mineral UPN “Veteran” Yogyakarta.
3. Dr. Ir. Drs. H. Herianto, M.T., selaku Kepala Jurusan Teknik Perminyakan UPN “Veteran” Yogyakarta dan selaku Pembimbing I Skripsi.
4. Ir. Suwardi MT., selaku Sekretaris Jurusan Teknik Perminyakan UPN “Veteran” Yogyakarta.
5. Ir. Sunindyo MT., selaku Dosen Wali.
6. Ir. P. Subiatmono, M.T., selaku Pembimbing II Skripsi.

Penyusun menyadari sepenuhnya bahwa Skripsi ini belum sempurna dan masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu segala saran serta kritikan sangat Penyusun harapkan demi perbaikan serta peningkatan mutu selanjutnya.

Yogyakarta, Maret 2019

Penulis

Muhammad Tsani Fakhrezi

RINGKASAN

Pada operasi pemboran panasbumi saat menembus interval reservoir maka akan terjadi kondisi hilang sirkulasi baik sebagian (*partial losses*) atau total (*total losses*), dan mengakibatkan hilangnya lumpur kedalam formasi yang artinya tidak ada informasi yang didapat dari cutting atau disebut *blind drilling*. Pada kondisi ini sering terjadi masalah pipa terjepit karena pembersihan cutting di dasar lubang bor kurang baik. Solusi untuk mengatasi masalah ini adalah dengan melakukan pemboran *aerated drilling*, yang bertujuan agar laju pemboran cepat dan tidak adanya masalah yang terjadi, maka waktu operasi menjadi cepat biaya yang dikeluarkan semakin murah dan hasil yang dihasilkan bagus.

Evaluasi *aerated drilling* pada lubang 12-1/4" dan lubang 9-7/8" Sumur XX Lapangan Panasbumi YY PERTAMINA GEOTHERMAL ENERGY. Menggunakan analisa hubungan antara ROP, torsi, RPM, dan WOB. Dari Analisa hubungan ROP, torsi, RPM, dan WOB didapati bahwa saat ROP turun yang ditandai dengan naiknya torsi dan turunnya RPM dan parameter WOB tidak berubah maka itu merupakan tanda-tanda akan terjadinya pipa terjepit jika tidak segera ditanggulangi dengan penambahan konsentrasi lumpur. Evaluasi pada sumur ini juga menggunakan pendekatan metode *Gas Law*, yaitu pendekatan dengan perencanaan laju injeksi udara di permukaan guna mendapatkan optimasi fluida aerasi di dalam lubang sumur. Dalam perencanaan laju injeksi udara di permukaan tersebut, harus memperhatikan batasan minimum dan maksimum *mud motor* yang digunakan untuk mengoptimalkan laju pemboran.

Berdasarkan data aktual, penerapan *aerated drilling* sumur XX, dilakukan pada lubang 12-1/4" dan lubang 9-7/8". Analisa grafik ROP vs Depth dimana terjadi 5 kali penurunan ROP yang berpotensi *pipe stuck*. Sehingga pada kondisi ini harus segera ditambahkan injeksi konsentrasi lumpur agar tidak terjadi *pipe stuck*. Pada sumur XX terjadi pipa terjepit yaitu pada kedalaman 3924 ft TVD dapat dilihat dari grafik dimana ROP yang kecil dan Torsi yang besar. Evaluasi *aerated drilling* pada kedalaman 3924 ft TVD dengan laju sirkulasi lumpur 747 gpm dan laju injeksi udara sebesar 1400 scfm memperoleh laju alir total sebesar 956.75 gpm. Rasionya sebesar 1 : 14. Harga ROP sebesar 15 ft/h dan torsinya sebesar 20 klbft. Nilai annular velocitynya pada DP sebesar 190 fpm dan pada DC sebesar 276 fpm dengan minimum velocity DP sebesar 166 fpm dan pada DC sebesar 178 fpm. Optimasi *aerated drilling* pada kedalaman 3924 ft TVD dengan laju sirkulasi lumpur sebesar 902 gpm dan laju injeksi udara sebesar 1437 scfm. Didapat total laju alir sebesar 1190 gpm sehingga rasio menjadi 1:11. Nilai annular velocitynya pada DP sebesar 233 fpm dan pada DC sebesar 339 fpm dengan minimum velocity DP sebesar 217 fpm dan minimum velocity DC sebesar 277 fpm. Optimasi ini nantinya akan dapat membersihkan *cutting* dari dasar lubang sumur dan mengurangi potensi terjadinya pipa terjepit.

DAFTAR ISI

| | Halaman |
|--|----------------|
| HALAMAN JUDUL | i |
| HALAMAN PENGESAHAN | iii |
| PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH | iv |
| KATA PENGANTAR | v |
| RINGKASAN | vi |
| DAFTAR ISI | vii |
| DAFTAR GAMBAR | x |
| DAFTAR TABEL | xi |
| BAB I. PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1. Latar Belakang | 1 |
| 1.2. Maksud dan Tujuan..... | 2 |
| 1.2.1. Maksud | 2 |
| 1.2.2. Tujuan | 2 |
| 1.3. Batasan Masalah | 2 |
| 1.4. Metodologi Penelitian | 3 |
| 1.5. Hasil Yang Diharapkan | 3 |
| 1.6. Sistematika Penulisan..... | 4 |
| BAB II. TINJAUAN UMUM LAPANGAN | 5 |
| 2.1. Letak Geografi Lapangan YY | 5 |
| 2.2. Geologi Pemboran | 6 |
| 2.3. Kondisi Geokimia Lapangan YY | 7 |
| BAB III. TEORI DASAR AERATED DRILLING | 12 |
| 3.1. Definisi <i>Aerated Drilling</i> | 12 |
| 3.2. <i>Aplikasi Aerated Drilling</i> | 12 |
| 3.3. Keuntungan <i>Aerated Drilling</i> | 13 |
| 3.3.1. Meningkatkan Laju Pemboran (ROP)..... | 13 |
| 3.3.2. Mencegah Pipa Terjepit | 13 |

DAFTAR ISI
(Lanjutan)

| | Halaman |
|---|----------------|
| 3.3.3. Mengurangi Terjadinya Kehilangan Sirkulasi..... | 14 |
| 3.3.4. Mengurangi Terjadinya Kerusakan Formasi | 16 |
| 3.3.5. Mengoptimalkan <i>Cutting Transport</i> | 16 |
| 3.4. Teknik <i>Aerated Drilling</i> Panasbumi..... | 17 |
| 3.4.1. Komponen Fluida <i>Aerated Drilling</i> | 17 |
| 3.4.1.1. Fasa Cairan..... | 17 |
| 3.4.1.2. Fasa Gas | 17 |
| 3.4.2. Prosedur Perencanaan untuk <i>Aerated Drilling</i> | 18 |
| 3.5. Teknik Injeksi <i>Aerated Drilling</i> | 19 |
| 3.5.1. <i>Drill Pipe Injection</i> | 19 |
| 3.5.2. <i>Annulus Injection</i> | 19 |
| 3.5.2.1. <i>Parasite String Injection</i> | 19 |
| 3.5.2.2. <i>Parasite Casing String</i> | 20 |
| 3.5.2.3. <i>Trough Completion Injection</i> | 20 |
| 3.5.3. Keuntungan <i>Drillpipe Injection</i> dan <i>Annulus Injection</i> ... | 20 |
| 3.5.4. Kerugian <i>Drillpipe Injection</i> dan <i>Annulus Injection</i> | 21 |
| 3.6. Peralatan <i>Aerated Drilling</i> | 22 |
| 3.6.1. Kompresor | 22 |
| 3.6.2. <i>Rotating Blow Out Preventer</i> (RBOP)..... | 23 |
| 3.6.3. <i>Booster</i> | 25 |
| 3.6.4. <i>Aerated Drilling Separator</i> | 25 |
| 3.6.5. <i>Float Valve</i> | 26 |
| 3.6.6. <i>Mist Pump</i> | 27 |
| 3.6.7. <i>Choke Manifold</i> | 27 |
| 3.6.8. <i>Layout Sistem Sirkulasi Aerated Drilling</i> | 27 |
| 3.7. Perhitungan <i>Aerated Drilling</i> | 29 |

DAFTAR ISI
(Lanjutan)

| | Halaman |
|--|----------------|
| 3.7.1. Analisa <i>Differential Pressure</i> | 29 |
| 3.8. Penentuan Tekanan Formasi (Survey P&T)..... | 31 |
| 3.8.1. Meotda PV = Konstan..... | 32 |
| 3.8.2. Perhitungan <i>Aerated Drilling</i> Tahap Berikutnya..... | 33 |
| 3.9. Pengangkatan Serbuk Bor | 37 |
| BAB IV. PERHITUNGAN SUMUR XX LAPANGAN YY | 38 |
| 4.1. Pemboran <i>Aerated Drilling</i> pada Sumur XX Pertamina Geothermal Energy | 38 |
| 4.1.1. Lumpur Dasar Yang Digunakan | 39 |
| 4.1.2. Kontruksi Sumur XX Lapangan YY..... | 39 |
| 4.2. Penerapan Teori Terhadap Data Lapangan Aktual..... | 41 |
| 4.2.1. Perhitungan Injeksi Udara | 41 |
| 4.2.2. Kecepatan dan Pola Aliran Lumpur Aerasi..... | 47 |
| 4.2.2.1. Pengangkatan <i>Cutting</i> | 49 |
| 4.2.2.2. Rasio Injeksi Udara dengan Injeksi Lumpur Dasar | 53 |
| 4.3. Optimasi <i>Aerated Drilling</i> | 56 |
| 4.3.1. Optimasi <i>Aerated Drilling</i> Pada kedalaman 1564 mTVD Lubang 12-1/4" trayek 10-3/4"..... | 56 |
| 4.3.2. Optimasi <i>Aerated Drilling</i> Pada kedalaman 2394 mTVD Lubang 9-7/8" trayek 8-5/8" | 61 |
| 4.4. Analisa ROP, Torsi, RPM, WOB vs Kedalaman | 73 |
| BAB V. PEMBAHASAN | 83 |
| BAB VI. KESIMPULAN | 90 |
| DAFTAR PUSTAKA..... | 92 |
| LAMPIRAN | |

DAFTAR GAMBAR

| Gambar | Halaman |
|--|----------------|
| 2.1. Peta Lokasi Area | 5 |
| 2.2. Peta Arah Sumur Proyek | 6 |
| 3.1. Lost Circulation | 12 |
| 3.2. Kompresor | 19 |
| 3.3. Rotating Head | 20 |
| 3.4. Gothermal BOP Stack | 20 |
| 3.5. Booster | 21 |
| 3.6. Float Valve | 22 |
| 3.7. Mist Pump | 23 |
| 3.8. Layout Sistem Sirkulasi | 24 |
| 3.9. BHP Vs Qgas..... | 31 |
| 3.10. Mixrate Vs Qgas | 32 |
| 3.11. ROP vs RPM | 33 |
| 3.12. ROP vs WOB..... | 33 |
| 3.13. Torque vs WOB | 34 |
| 4.1. Konstruksi Sumur XX Lapangan YY | 40 |
| 4.2. Kedalaman vs ROP, Torsi, RPM, WOB, Ratio Pada Trayek 12 ¼” | 60 |
| 4.3. Kedalaman vs ROP, Torsi, RPM, WOB, Ratio Pada Trayek 9.875” | 62 |
| 4.4. ROP vs WOB..... | 68 |
| 4.5. ROP vs RPM | 68 |

DAFTAR TABEL

| Tabel | Halaman |
|--|----------------|
| IV – 1 Data Casing Sumur XX | 39 |
| IV – 2 Drilling Parameter | 40 |
| IV – 3 Data Hasil Perhitungan Aktual Aplikasi <i>Aerated Drilling</i> Kedalaman vs Liquid | 45 |
| IV – 4 Data Hasil Perhitungan Aktual Aplikasi <i>Aerated Drilling</i> Kedalaman vs Udara..... | 46 |
| IV – 5 Data Hasil Perhitungan Aktual Aplikasi <i>Aerated Drilling</i> Kedalaman vs <i>Aerated</i> | 46 |
| IV – 6 Data Geometri Lubang Bor, Tubular dan <i>Cutting</i> Sumur XX Pertamina Geothermal Energy Lapangan YY..... | 47 |
| IV – 7 Data Hasil Perhitungan Optimasi Kedalaman vs Liquid | 58 |
| IV – 8 Data Hasil Perhitungan Optimasi Kedalaman vs Udara..... | 59 |
| IV – 9 Data Hasil Perhitungan Optimasi Kedalaman vs <i>Aerated</i> | 59 |
| IV – 10 Kedalaman vs ROP, Torsi, WOB, RPM, GPM, SCFM, Ratio Trayek 12 $\frac{1}{4}$ " | 61 |
| IV – 11 Kedalaman vs ROP, Torsi, WOB, RPM, GPM, SCFM, Ratio Trayek 9.875" | 63 |
| IV – 12 Kedalaman vs Liquid Aktual..... | 65 |
| IV – 13 Kedalaman vs Udara Aktual | 65 |
| IV – 14 Kedalaman vs <i>Aerated</i> Aktual..... | 66 |
| IV – 15 Kedalaman vs Liquid Optimasi..... | 66 |
| IV – 16 Kedalaman vs Udara Optimasi..... | 67 |
| IV – 17 Kedalaman vs <i>Aerated</i> dan Rasio Optimasi..... | 67 |

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pada industri Panasbumi sama halnya dengan Migas. Salah satu dari kegiatan tersebut adalah pemboran. Perbedaan pemboran panasbumi dengan pemboran migas adalah target reservoir yang dicari, dimana pada panasbumi dicari daerah rekahan sedangkan pada migas tidak. Pada umumnya reservoir panasbumi mempunyai tekanan lebih rendah dari kolom *hydrostatic pressure* air pada kedalaman manapun di interval reservoir. Pada saat dilakukan pemboran pada interval reservoir maka akan terjadi kondisi hilang sirkulasi baik sebagian (*partial loss*) maupun total (*total losses*), karena fluida pemboran lebih mudah masuk ke dalam formasi. Hal ini disebabkan karena adanya rekahan alami sehingga terjadilah zona loss.

Metode pemboran yang dulu dilakukan untuk menghadapi situasi ini adalah dengan melakukan *blind drilling* yaitu dilakukannya pemboran dengan air secara terus menerus agar fluida dan cutting dapat terbuang di dalam rekahan. Masalah utama yang timbul dengan metode ini yaitu tidak selalu dan tidak semua cutting pemboran tersebut dapat dibuang atau benar-benar hilang ke dalam rekahan (*permeable zones*) dikarenakan terbatasnya permeabilitas formasi yang di bor sehingga *cutting – cutting* tersebut hanya tinggal di bibir rekahan oleh karena itu yang terbuang pada rekahan hanya fluidanya saja. Apabila cutting masuk ke dalam rekahan dapat mengakibatkan rusaknya formasi yang dapat menurunkan permeabilitasnya. Kondisi ini menyebabkan sumur menjadi labil, sewaktu – waktu cutting tersebut dapat masuk lagi ke dalam sumur yang akhirnya menyebabkan rangkaian pipa pemboran terjepit yang diakibatkan oleh penumpukan cutting.

Solusi untuk mengatasi hal ini adalah melakukan pemboran dengan metode *Aerated Drilling* yaitu penginjeksian udara ke dalam lumpur pemboran. Pada metode *aerated drilling* hal penting yang perlu diperhatikan adalah *design ratio* perbandingan antara volume injeksi lumpur dasar dengan volume injeksi udara, jika

dalam *aerated drilling* masih terjadi *lost circulation* karena lebih besarnya tekanan hidrostatik lumpur daripada tekanan formasi, maka kita menaikkan ratio injeksi udara. Dengan injeksi udara yang lebih besar maka densitas lumpur aerasi di annulus akan berkurang dan *bottom hole pressure* berkurang, akibat lebih kecilnya *bottom hole pressure* lumpur dari pada tekanan formasi maka resiko *lost circulation* dapat dikurangi. Selain untuk mengurangi hilang sirkulasi manfaat lain *aerated drilling* yaitu meningkatkan *Rate Of Penetration (ROP)*, pembersihan lubang bor yang lebih baik dan mencegah terjadinya pipa terjepit.

1.2. Maksud dan Tujuan

1.2.1. Maksud

Maksud dari peneliti adalah untuk mengkaji penggunaan *aerated drilling* pada sumur XX di lapangan YY. Untuk mengetahui beberapa parameter ratio injeksi udara di permukaan dengan lumpur dasar yang digunakan sehingga mendapatkan *bottom hole pressure*.

1.2.2. Tujuan

Tujuan dari peneliti adalah hasil yang diajukan dari kajian dan optimasi yang dilakukan dapat menjadi acuan dan pertimbangan untuk sumur XX berikutnya, dikarenakan dengan terlebih dahulu mengevaluasi parameter perhitungan pada kondisi aktual dan kemudian membandingkan hasil optimasi dengan harga aktual dilapangan sehingga dapat dilakukan pencegahan *pipe stuck* dan *lost circulation*.

1.3. Batasan Masalah

1. Analisa didasarkan pada data dan hasil pelaksanaan pemboran sumur yang dianalisa.
2. BHA dianggap sebagai drill collar sehingga memudahkan perhitungan kecepatan pada kondisi di annulus.
3. Hasil perhitungan menggunakan konsep gas ideal (*The Law of Boyle*) dimana suatu gas pada volume (V) jika ditekan pada suhu tetap (isotermis) maka volumenya akan berkurang dan tekanan gas akan bertambah, hubungan tekanan dan volume pada volume gas suhu tetap.

4. Hasil perhitungan *rate* udara yang dibutuhkan berdasarkan besar *rate* lumpur dasar pada kondisi ideal.

1.4. Metodologi Penelitian

Metode yang dipakai untuk kajian penggunaan *aerated drilling* panasbumi dengan metode Gas Ideal meliputi *Pressure top*, *bottom hole pressure*, *pressure formation*, *Mix density*, *Flow mix*, *annular velocity*, *Reynold Number*, metode *Cutting Transport Ratio* (Ft) dan *Cutting Concentration* (Ca). Setelah itu dapat dihitung ratio injeksi lumpur dengan injeksi udara. Metode Gas Ideal berpengaruh terhadap tekanan, temperature dan volume. Metode Gas Ideal digunakan untuk mencari ratio injeksi yang tepat sesuai dengan kemampuan minimum dan maksimum mud motor. Kemudian dari ratio tersebut kecepatan annulus (V_{ann}) dari lumpur aerasi harus lebih besar dari 150 ft/menit dan lebih besar dari penjumlahan kecepatan kritis (V_c) dan kecepatan slip serbuk bor (V_s) agar pembersihan lubang bor baik. Hasil analisa akan dibuat sebuah *spread sheet* setiap kedalaman agar memudahkan analisa dan desain ulang dari *aerated drilling*. Sedangkan metode *Cuttinng Transport Ratio* (Ft) dikatakan baik jika mempunyai harga $> 90\%$, *Cutting Concentration* (Ca) dikatakan baik jika harganya $< 5\%$.

1.5. Hasil yang Diharapkan

Penggunaan Q lumpur dasar dan Q udara yang dibutuhkan sesuai dengan kondisi sumur yang akan dibor juga diinginkan mendapatkan sirkulasi *return* yang optimum dan juga terhindar dari masalah pemboran yang sering terjadi dipemboran panasbumi yaitu *loss circulation* dan *stuck pipe*.

1.6. Sistematika Penulisan

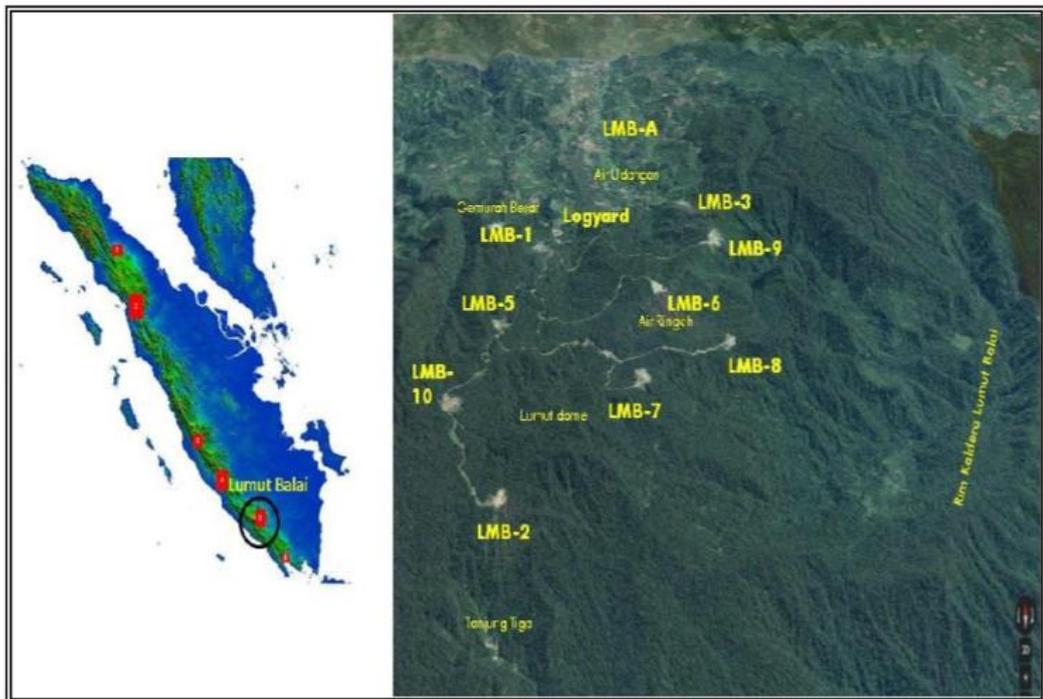
Untuk memudahkan pemahaman dalam penyelesaian masalah, disajikan secara sistematis. Sistematika penulisan Skripsi ini, dimulai dengan Pendahuluan yang terdapat pada Bab I. Tinjauan umum mengenai lapangan yang meliputi letak geografis, tinjauan geologi, dan reservoir terdapat pada bab II. Metode pemboran menggunakan *aerated drilling* sera tinjauan pustaka yang berkaitan dengan

penulisan Skripsi ini terdapat pada bab III. Menjabarkan data serta perhitungan kajian data actual dan optimasi untuk di evaluasi pada bab IV. Menguraikan pembahasan hasil kajian dan optimasi perhitungan rate udara yang dibutuhkan dengan rate lumpur digunakan yang berhubungan dengan pengangkatan serbuk bor pada bab V. Kesimpulan pada skripsi ini pada bab VI. Lampiran yang disertakan dalam Skripsi ini berisi data-data penunjang, dan tabulasi hasil perhitungan yang berhubungan dengan penulisan Skripsi ini.

BAB II TINJAUAN UMUM LAPANGAN YY

2.1. Letak Geografis Lapangan YY

Area panas bumi YY terletak di Kabupaten Muara Enim, Provinsi Sumatra Selatan (± 90 km dari Kota Baturaja). Seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.1**.



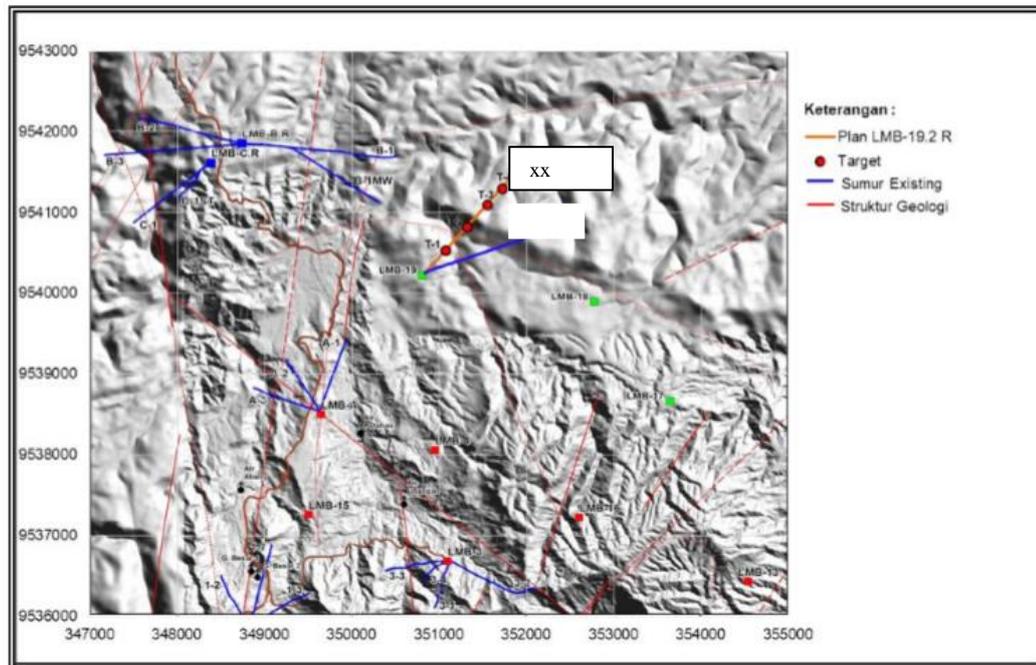
Gambar 2.1.
Peta Lokasi Area
(PT Pertamina Geothermal Energy)

Berdasarkan analisis data eksplorasi permukaan dan data bawah permukaan dari sumur yang ada, model konseptual panasbumi daerah YY dapat diuraikan sebagai berikut. Daerah prospek panasbumi YY berasosiasi dengan rangkaian aktivitas vulkanisme Kuartar kompleks Lumut-Balai. Sumber panas sistem panasbumi diperkirakan berasal dari aktivitas vulkanik terakhir yaitu erupsi Bt. Lumut Muda pada 0.6 – 0.9 juta tahun yang lalu, yang berada di bagian Barat Daya daerah penelitian. Struktur rim kaldera Bt. Lumut Tua diperkirakan membatasi perkembangan sistem panasbumi, dan terpotong oleh struktur sesar yang berarah

umum Utara-Selatan dan Timur Laut – Barat Daya. Sistem panas bumi YY berupa dominasi air dengan temperatur reservoir berkisar 260 – 300°C. Target utama pemboran yaitu target reservoir dalam pada kedalaman 959 mKU/876 mKT, 1624 mKU/1370 mKT, 2214 mKU/1808Mkt, dan 2627 mKU/2120 mKT.

2.2. Geologi Pemboran

Geologi lapangan YY berupa patahan dan perselangan batuan andesit basaltik, tufa, breksi andesit dan dasit yang telah mengalami ubahan. Batuan tersebut diperkirakan berasal dari aktivitas vulkanik terakhir yaitu erupsi Bt. Lumut Muda pada 0.6 – 0.9 juta tahun yang lalu. Arah sumur proyek diambil berdasarkan patahan yang terdapat pada lapangan. Seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.2**.



Gambar 2.2
Peta Arah Sumur Proyek
(PT Pertamina Geothermal Energy)

Intensitas ubahan/alterasi pada litologi sumur XX pada kedalaman 0 – 30 mKU dengan dominasi material vulkanik lepas dengan kekerasan lunak – keras pada formasi pasca caldera, kemudian pada kedalaman 30 – 400 mKU dengan perselingan breksi andesit, breksi tuff dan andesit basaltis dengan kekerasan lunak – sedang pada formasi kaldera YY, pada kedalaman 400 – 1000 dominasi lava

andesit perselingan breksi andesit dan breksi tuff dengan kekerasan sedang – keras pada formasi kaldera YY, kedalaman 1000 – 2000 dominasi lava andesit perselingan breksi vulkanik dan sisipan metasedimen (est. +/- 1700 mKU) dengan kekerasan sedang – keras pada formasi pra kaldera YY, kedalaman 2000 – 3000 dominasi lava andesit perselingan breksi andesit, tuff lapilli dan bedding tuff kekerasan sedang – keras pada formasi pra lumut tua.

Tujuan pemboran sumur XX adalah sebagai berikut :

- Pemboran untuk sumur reinjeksi brine ke dalam reservoir lapangan YY dari sumur-sumur produksi untuk Unit 1 & 2
- Untuk menjaga kelangsungan produksi fluida geothermal dan tekanan reservoir YY pada jarak yang ideal ($\pm 3-4$ km) sehingga terhindar dari kembalinya fluida reinjeksi terlalu cepat masuk ke dalam zona produksi
- Untuk mendapatkan permeabilitas dari struktur berarah NW-SE dan Rim Kaldera YY.

2.3. Kondisi Geokimia Lapangan YY

Manifestasi yang dijumpai di daerah lapangan YY adalah *fumarola*, *solfatara*, *steam heated water*, *mud pool*. Berdasarkan geokimia yaitu untuk mengetahui komposisi kimia fluida panasbumi untuk mengetahui karakteristik fluida dan proses yang mempengaruhi fluida tersebut. Dari data geokimia air separasi dari sumur produksi kemudian diolah dengan menggunakan segitiga Giggenbach menunjukkan bahwa jenis air formasi adalah *Chlorida air* yang merupakan air alkali klorida yang memiliki ciri pH 7 sampai 8 dan memiliki SiO₂ yang tinggi. Mineral kuarsa sekunder terbentuk dari fluida dan anion-anion yang akibat alterasi hidrotermal sehingga formasi tersebut merupakan formasi yang brittle.

BAB III

TEORI DASAR *AERATED DRILLING*

3.1. Definisi *Aerated Drilling*

Dalam pemboran sumur panasbumi terdapat bermacam – metode yang digunakan, salah satu diantaranya adalah *Aerated Drilling*. Metode ini diadaptasi dari teknik *air drilling* dan teknik *foam drilling* yang digunakan di perminyakan dan termasuk salah satu jenis pemboran *underbalanced*. *Aerated Drilling* dapat diartikan sebagai penambahan udara yang terkompresi pada sistem fluida sirkulasi (lumpur pemboran) untuk mengurangi densitas dari kolom fluida.

3.2. Aplikasi *Aerated Drilling*

Beberapa keadaan formasi yang tepat dilakukan pemboran *aerated drilling* yaitu:

- Setiap formasi yang mempunyai kemungkinan mengalami kerusakan dan setiap reservoir yang mempunyai rekahan alami yang dibor dengan lintasan lurus atau lateral horizontal.
- Reservoir pada zona yang bertekanan rendah atau telah turun (*depleted*) dapat menyebabkan beberapa problem pemboran bila dilakukan dengan menggunakan metode konvensional yaitu kehilangan sirkulasi dan pipa terjepit.
- Situasi dimana *Rate of Penetration* (ROP) diharapkan meningkat dan dengan relative lebih sedikit penggunaan mata pahat (*bit*).

Beberapa keadaan formasi yang memberikan hasil yang *moderat* jika dilakukan *aerated drilling* :

- Formasi yang memiliki permeabilitas sangat kecil dimana dibutuhkan *hydraulic fracturing*.
- Permeabilitas formasi yang sangat tinggi yang dapat menghasilkan fluida formasi yang sangat tinggi yang melebihi kapasitas peralatan permukaan,

dalam situasi ini dibutuhkan *clear fluid* dengan *acid soluble solids* yang bersifat *non-invasive*.

- Formasi yang memiliki tekanan tinggi dimana membutuhkan biaya yang lebih mahal untuk fluida pemboran dan peralatan permukaan.

Beberapa keadaan formasi dimana *aerated drilling* tidak tepat penggunaannya :

- *Highly unconsolidated formations* dimana diperlukan pengaturan tekanan untuk kestabilan lubang sumur.
- Formasi dimana *swelling*, berkurangnya diameter lubang bor dan stabilitas wellbore dapat diantisipasi sehingga penggunaan *aerated drilling* tidak tepat.

3.3. Keuntungan *Aerated drilling*

Aerated drilling memberikan banyak keuntungan dibandingkan dengan pemboran konvensional (*overbalanced*). Beberapa keuntungan dapat diuraikan sebagai berikut :

3.3.1. Meningkatkan Laju Pemboran (ROP)

Pada pemboran *overbalanced* pengaruh dari meningkatnya berat lumpur akan memberikan efek negatif terhadap laju penembusan. Ketika lubang bor dihancurkan oleh bit, arah yang berlawanan dari fluida kedalam formasi membuat serbuk bor diampada tempatnya, yang seharusnya dapat memindahkan serbuk bor dari lubang bor. Sehingga bit akan menggerus ulang serbuk bor. Sebagai akibat gaya menggerus ulang ini, banyak waktu yang terbuang dengan kata lain mengurangi laju penembusan.

Viskositas yang naik akan meningkatkan *friction loss*, menambah *pressure drop* dan mengurangi kecepatan yang didapat. Oleh karena itu bila viskositas naik, *chip clearance time* akan bertambah sehingga dapat menurunkan ROP, dalam *aerated drilling* viskositas dari lumpur aerasi akan menurun karena adanya penambahan udara sehingga ROP akan meningkat.

3.3.2. Mencegah Pipa Terjepit

Ada dua macam pipa terjepit, yaitu : *differential pressure pipe sticking* dan *mechanical pipe sticking*. *Differential pressure pipe sticking* terjadi ketika bagian dari *drillstring* menempel masuk kedalam *mud cake* yang terbentuk di dinding zona permeable selama pemboran yang disebabkan oleh tekanan lumpur (P_m) yang lebih besar dari tekanan zona permeabel (P_{ff}). Besarnya perbedaan tekanan (*differential pressure*) yang dialami pipa di dalam *mud cake* yaitu :

$$\Delta P = P_m - P_{ff} \dots\dots\dots (3.1)$$

Keterangan :

ΔP = *differential pressure*

P_m = tekanan lumpur

P_{ff} = tekanan zona permeable

Beberapa hal yang dapat menyebabkan pipa terjepit yaitu :

- Tingginya tekanan lubang bor (tekanan hidrostatik lumpur) yang disebabkan oleh besarnya densitas lumpur pemboran.
- Formasi bertekanan rendah pada zona permeable (*depleted*)
- Tebalnya zona permeabel
- Tebalnya mud cake dan mud cake dengan koefisien yang tinggi.

Mechanical pipe sticking dapat disebabkan oleh beberapa hal berikut ini :

- Kurangnya pembersihan lubang bor
- *Hole carving*
- *Keyseating*

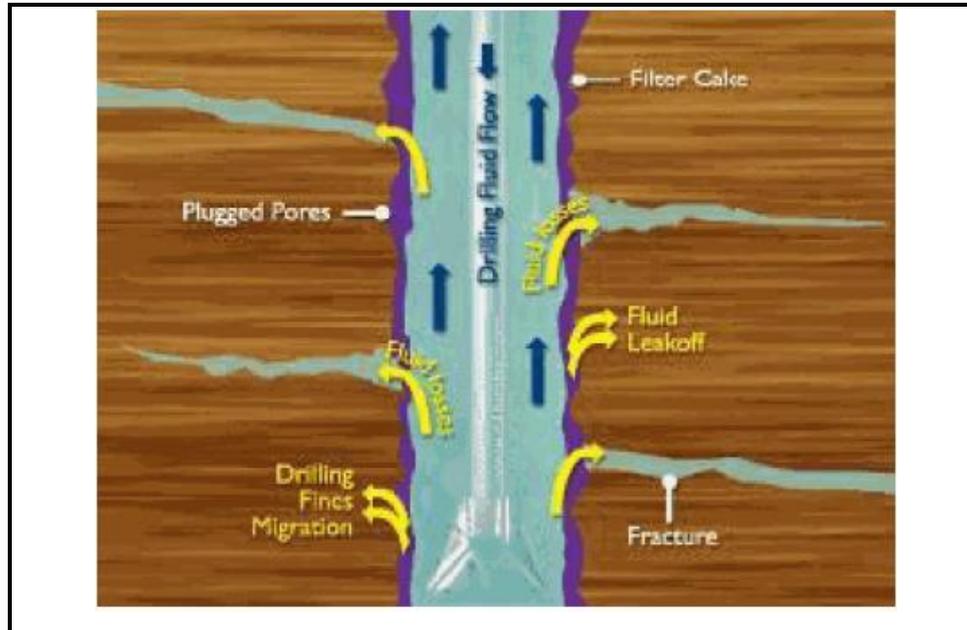
Untuk mencegah terjadinya pipa terjepit ini maka harus digunakan lumpur yang mempunyai densitas yang lebih rendah untuk memberikan tekanan hidrostatik lumpur yang lebih rendah, *water loss* yang lebih rendah dan *mud cake* yang tipis. Hal ini dapat dilakukan dengan penerapan pemboran *aerated drilling* pada formasi yang jika dilakukan dengan pemboran *overbalanced* akan mengalami pipa terjepit.

3.3.3. Mengurangi Terjadinya Kehilangan Sirkulasi

Hilang sirkulasi adalah masuknya lumpur pemboran kedalam formasi. terdapat dua jenis hilang sirkulasi yaitu sebagian dan total. **Dijelaskan pada Gambar 3.1.** Hilang sirkulasi dapat terjadi pada dua tipe formasi yaitu :

1. Formasi yang membuat lumpur masuk kedalamnya seperti :

- Formasi dengan rekah alami
- Zona bergua / growing
- Zona berpermeabilitas tinggi



Gambar 3.1. Lost Circulation
(I Made Budi, 2008)

Formasi yang mengalami perekahan yang disebabkan oleh :

- Berat lumpur yang terlalu tinggi
- Tingginya laju lair lumpur dapat meningkatkan equivalent circulation mud weight, $\gamma_{me} = \gamma_m + \gamma_{af}$, dimana γ_{af} adalah meningkatkan equivalent circulation mud yang disebabkan kehilangan tekanan di annulus yang sebanding dengan laju alir lumpur.

$$\gamma_{af} = P_{ann-loss} / 0.052 / \text{kedalaman} \dots\dots\dots (3.2)$$
- Tekanan surge yang diakibatkan kecepatan masuknya rangkaian drillstring (tripping in) terlalu cepat yang dapat meningkatkan circulating mud wight $\gamma_{me} = \gamma_m + \gamma_{surge}$, dimana γ_{surge} sebanding dengan ukuran pipa.
- Kurangnya pembersihan lubang bor yang dapat menyebabkan meningkatnya densitas lumpur.

Dengan diterapkan *aerated drilling* pada tipe formasi tersebut maka kemungkinan kehilangan sirkulasi dapat dikurangi karena penggunaan lumpur pemboran yang memberikan tekanan di bawah tekanan formasi.

Untuk daerah panasbumi hilang sirkulasi tetap terjadi karena banyaknya rekahan terutama memasuki zona reservoir, akibat semakin banyaknya rekahan maka semakin kecil tekanan formasi.

3.3.4. Mengurangi Terjadinya Kerusakan Formasi

Dalam pemboran *overbalanced*, fluida pemboran didisain untuk memberikan tekanan hidrostatik yang lebih besar daripada tekanan pori/rekahan formasi, hal ini disebabkan untuk mencegah fluida formasi mengalir dalam lubang bor. Perbedaan antara tekanan fluida pemboran dan tekanan formasi memberi kemungkinan partikel lumpur dan infasi *filtrate* ke dalam formasi. Akibatnya maka partikel – partikel tersebut menyumbat lubang pori.

Beberapa metoda telah digunakan untuk mengurangi kerusakan seperti pengasaman, perekahan hidrolik dan lain – lain. Penanggulangan ini tidak dapat mengurangi kerusakan secara total, hanya sebagian yang berhasil, sebab keadaan formasi yang kompleks dapat membuat disain pencegahan sangat sulit, selanjutnya metode perawatan ini juga memberikan efek samping yang dapat membuat kerusakan formasi. Kerugian lainnya perawatan sumur adalah biaya pemakaian bahan – bahan kimia yang tinggi.

Pemakaian fluida yang didisain untuk pemboran aerasi tidak akan membuat kerusakan formasi, dikarenakan tekanan fluida pemboran didisain kurang dari atau sama dengan tekanan pori formasi, sehingga fluida pemboran tidak akan masuk kedalam pori dan rekahan. Dengan cara ini rekahan dan pori formasi tidak akan tersumbat, sebab tekanan pori formasi lebih besar dari tekanan fluida aerasi.

Keuntungan lainya dari pemboran aerasi adalah dapat dilakukan *test while drilling*, pemakaian MWD, mangurangi biaya lumpur yang terlalu tinggi, mengurangi biaya pemboran dan meningkatkan umur bit, menghindari mahalnya biaya kompleksasi dan stimulasi, mempercepat indikasi zona produksi reservoir selama pemboran.

3.4. Teknik *Aerated Drilling* Panasbumi

Fluida pemboran aerasi terdiri dari fasa gas (udara) yang diinjeksikan (dicampur) ke dalam fasa lumpur dasar (*water base mud*) dimana fraksi cairan lebih dari 25 % dan lumpur aerasi ini memiliki densitas efektif antara 4 – 7 ppg. Injeksi lumpur dengan tambahan udara bertujuan untuk mengurangi densitas kolom lumpur pada annulus agar memiliki kesetimbangan dan lebih kecil dari tekanan formasi, sehingga lumpur aerasi dapat mencegah terjadinya hilang sirkulasi yang terjadi jika menggunakan fluida pemboran konvensional. Pengaturan tekanan sirkulasi dapat dilakukan dengan mengatur laju (*rate*) gas injeksi dan laju lumpur yang dipompakan. Dalam pemboran aerasi fasa cairan fluida pemboran dapat digunakan kembali setelah sirkulasi dan kembali ke permukaan.

3.4.1. Komponen Fluida *Aerated Drilling*

Fluida pemboran aerasi terdiri dari dua fasa, yaitu fasa cairan sebagai lumpur dasar (lumpur bentonit, KCL brine, maupun air) dan fasa gas yang diinjeksikan ke dalam lumpur dasar untuk mengurangi tekanan hidrostatik di annulus.

3.4.1.1. Fasa Cairan

Biasanya lumpur pemboran *overbalanced* yang ringan yang digunakan sebagai fasa cairan, dimana komponen utamanya adalah air (*water base mud*). Jika memungkinkan, air tawar sering digunakan untuk lumpur dasar karena mudah didapat dengan tambahan KCL, polimer dan additive lainnya.

3.4.1.2. Fasa Gas

Dalam *aerated drilling* panasbumi fasa gas yang digunakan adalah udara bebas atau bisa juga nitrogen karena mudah didapatkan dan murah. Udara bebas terdiri dari 78 % nitrogen, 21 % oksigen, dan sisanya gas yang lain seperti argon, neon dan lainnya. Sedangkan untuk penggunaan nitrogen sendiri diperlukan sebuah alat kusus yang dinamakan *nitrogen processing/membran unit* (NPU/NMU) dimana konsentrasi nitrogen dari udara bebas ditingkarkan menjadi 90 – 95 %.

Keuntungan penggunaan udara sebagai fluida sirkulasi dalam pemboran aerasi panasbumi antara lain :

1. Meningkatkan laju penetrasi karena udara mengurangi tekanan hidrostatik pada formasi yang sedang di bor, sehingga batuan lebih mudah terlepas

untuk menyeimbangkan perbedaan tekanan. Laju penetrasi dapat meningkat sebesar 100 %.

2. Tidak menyebabkan kerusakan formasi.
3. Fluida formasi dapat diketahui seketika karena udara membentuk sistim *underbalanced* didepan formasi sehingga fluida formasi masuk kedalam sumur.
4. Penginjeksian udara bertujuan untuk mengimbangi tekanan formasi sehingga mencegah terjadinya hilang sirkulasi.

Udara merupakan fluida yang kompresibel yang volumenya dipengaruhi oleh tekanan dan temperatur. Karena densitas lumpur aerasi dipengaruhi oleh udara maka densitas lumpur aerasi berbeda pada setiap kedalaman.

3.4.2. Prosedur Perencanaan *Aerated Drilling*

Ada beberapa hal yang harus diperhatikan sebelum dilakukannya proses metode aerated drilling, yaitu :

1. Mendapatkan data borehole geometri
2. Mendapatkan geometri terkait drillstring (ukuran *drill collar* dan *drill pipe* dan maksimum kedalaman) dan drill bit.
3. Memprediksi tipe batuan formasi.
4. Penentuan temperatur fluida
5. Menetapkan tujuan operasi fluida aerated drilling (*underbalanced drilling*).
6. Menentukan perkiraan volumetric *flow rate* campuran fluida incompressible dengan kompresi udara yang digunakan untuk *aerated drilling*. Biasanya nilai minimum volumetric *flowrate* dari incompressibel akan membersihkan *cutting* dari dasar permukaan sumur dan dapat mengangkat cutting kepermukaan.
7. Dapat ditentukan bottom hole annulus pressure dan surface injection pressure.
8. Menentukan tekanan compressor yang akan digunakan untuk udara atau gas selama *aerated drilling*.

3.5. Teknik Injeksi *Aerated Drilling*

Ada dua teknik dasar penginjeksian gas kedalam fasa lumpur dasar yaitu pencampuran sebelum masuk ke dalam *drillstring* dan pencampuran yang dilakukan ke dalam annulus.

3.5.1. Drill Pipe Injection

Metode ini paling sering digunakan di lapangan karena pencampuran fasa gas ke fasa lumpur dasar dilakukan di permukaan sebelum masuk ke *drillstring*. Tidak dibutuhkan peralatan bawah permukaan sehingga tidak menambah biaya. Selama proses penyambungan dan *tripping* tidak dapat dilakukan penginjeksian gas sehingga kontrol tekanan bawah lubang tidak baik. Volume gas yang dibutuhkan untuk injeksi lebih sedikit dibandingkan dengan teknik injeksi yang lainnya. Aliran fluida dirangkain *drillstring* adalah dua fasa dan di annulus tiga fasa yaitu gas, air dan serbuk bor.

3.5.2. Annulus Injection

Penginjeksian udara dilakukan di annulus untuk meringankan fasa lumpur dasar. Aliran pada *drillstring* adalah satu fasa yaitu hanya lumpur awal. Pada teknik penginjeksian ini memerlukan peralatan tambahan sehingga memerlukan biaya dan volume gas yang lebih banyak. Udara dapat diinjeksikan ke dalam annulus selama proses penyambungan dan *tripping* tetapi pengontrolan bawah permukaan tidak sempurna. Ada beberapa macam penginjeksian di annulus, antara lain :

3.5.2.1. Parasite String Injection

Metodenya adalah dengan menyemen 1" – 2.5" coiled tubing ke bawah di sisi casing. Suatu kondisi *underbalanced* dibuat dan dijaga dengan menginjeksikan gas melalui *side entry sub* di atas *kick point*. Ketika mengebor, tekanan pompa cairan yang dibutuhkan disediakan melalui *drillstring* ke lubang bor, sama seperti operasi pemboran konvensional.

Pada sistem parasite string hanya pada bagian lubang vertikal saja yang akan mengalami pencampuran lumpur pemboran dengan udara. Ratio pencampuran harus didesain sedemikian rupa untuk memperoleh efek *underbalance* yang diinginkan. Keuntungan metode ini adalah dapat dilakukannya sistem *underbalance* secara kontinu.

3.5.2.2. *Parasite Casing Injection*

Metode ini hampir sama dengan *parasite string*, metode ini dilakukan dengan memasukan *temporary inner casing* antara casing terluar dengan *drillstring*. Kondisi underbalanced dibuat dengan menginjeksikan ke bawah antara ruang casing terluar dan casing terdalam sampai ke *casing shoe* yang akan bercampur dan kembali bersama fluida dan serbuk bor ke permukaan.

3.5.2.3. *Trough Completion Injection*

Jika suatu reservoir dapat di bor melalui kompleks yang ada (pendalaman atau *side tracks*), *gaslift mandrel* dalam kompleks tersebut dapat digunakan untuk mengangkat fluida pemboran.

3.5.3. Keuntungan *Drill pipe Injection* dan *Annulus Injection*

Terdapat beberapa keuntungan dari drill pipe injection maupun annulus injection, dapat dijelaskan sebagai berikut:

➤ *Drill pipe injection* :

- Karena teknik ini tidak memerlukan tambahan peralatan bawah permukaan, maka *drill pipe injection* lebih murah dari *annulus injection*.
- Karena gas diinjeksikan ke dalam annulus hingga dasar annulus, maka dibutuhkan laju alir volumetrik gas yang kecil untuk mencapai bottom hole pressure yang diinginkan dibandingkan dengan *annulus injection*.

➤ *Annulus Injection*

- Aerasi dari fluida inkompresibel pada annulus diatas posisi masuknya gas annulus tetap bisa dilanjutkan selama *connections* dan *trips*.
- Mengalir ke bawah masuk ke dalam drill string adalah aliran satu fasa, sehingga konvensional mud mendorong MWD untuk bisa digunakan pada operasi *aerated directional drilling*.
- Tekanan kompresor digunakan untuk memantain injeksi gas.

3.5.4. Kerugian *Drill pipe Injection* dan *Annulus Injection*

Terdapat beberapa keuntungan dari drill pipe injection maupun annulus injection, dapat dijelaskan sebagai berikut:

➤ *Drill pipe injection* :

- Aerasi dari fluida incompressibel tidak bisa dilanjutkan ketika sirkulasi tidak berjalan untuk *connection* dan *tripping*. Sehingga susah untuk maintain konstan bottom hole pressure selama pemboran berlangsung.
- Mengalir ke bawah masuk ke drill string adalah aliran dua fasa, sehingga terjadi friksi yang tinggi pada dinding pipa. Tingginya *friction loss* merupakan hasil dari tingginya tekanan pompa dan kompresor selama injeksi. Hal ini dapat diringankan dengan menggunakan jet sub.
- Fase gas pada aliran aerasi dilemahkan dorongan konvensional sistem MWD, sehingga konvensional mud mendorong elementary MWD tidak bisa digunakan.

➤ *Annulus Injection*

- Karena *parasite tubing string* atau *temporary casing* ditempatkan pada *particular fix location* dalam sumur, teknik aerasi ini lebih tidak fleksibel dari pada teknik *drill pipe injection*.
- Memulai aliran gas ke annulus membutuhkan tekanan kompresor yang besar
- Karena gas diinjeksikan ke dalam annulus pada kedalaman sumur fix diatas dasar dari annulus, lebih tinggi *flow rate* gas volumetrik dibutuhkan untuk maintain *bottom hole pressure* konstan dibandingkan *drill pipe injection*.

3.6. Peralatan Aerated Drilling

Peralatan yang digunakan untuk *aerated drilling* secara umum hampir sama dengan peralatan pemboran konvensional. Karena dalam *aerated drilling* pelaksanaan pemboran dapat dilakukan bersamaan dengan memproduksi fluida formasi yang keluar dan kebutuhan gas injeksi maka peralatan tambahan yang digunakan harus bisa menangani hal-hal tersebut. Secara umum peralatan tambahan yang digunakan dalam *aerated drilling* antara lain :

3.6.1. Kompresor

Kompresor dapat mengirimkan udara yang terkompresi hingga 1500 cfm pada tekanan 200 psi. Kompresor *single – stage* dapat memberikan tekanan hingga 200 psi sedangkan kompresor *multi stage* dapat memberikan tekanan hingga 350 psi. Biasanya terdapat lebih dari satu unit kompresor di lapangan yang akan menyuplai laju injeksi gas yang diinginkan. Kompresor mempunyai efisiensi berkisar antara 50 % – 90 %.

Volume udara yang dihasilkan kompresor berdasarkan batas keluaran pada kondisi ideal dipermukaan laut, sehingga volume udara yang keluar dari kompresor perlu dikoreksi karena adanya efek dari temperatur, tekanan dan kelembaban udara. Gambar kompresor seperti pada **Gambar 3.2.** berikut :



Gambar 3.2. Kompresor
(I Made Budi, 2008)

3.6.2. Rotating Blow Out Preventer (RBOP)

Rotating Blow Out Preventer (RBOP) dipasang di atas BOP. RBOP ini berfungsi untuk mengatur aliran balik dalam lubang bor. Pada saat beroperasi mampu menahan tekanan balik dari formasi sampai 2500 psi. *Rotating Blow Out*

Preventer dijelaskan pada **Gambar 3.3.** dan **Gambar 3.4.** yang terdiri dari beberapa komponen yaitu :

1) *Rotating Control Head (RCH) Bowl*

RCH *Bowl* dipasang diatas BOP stack dengan menggunakan sambungan *bottom flange*. RCH *Bowl* sendiri mempunyai ukuran 7 1/16” dan tekanan kerja sebesar 5000 psi. Semua sambungan *flange* harus sesuai dengan standard API.



Gambar 3.3. Rotating Head
(I Made Budi, 2008)



Gambar 3.4. Geothermal BOP Stack
(I Made Budi, 2008)

3.6.3. *Booster*

Booster berfungsi sebagai penguat aliran udara yang dikeluarkan kompresor, sehingga tekanan udara yang terkompres mampu memasuki aliran lumpur. Bila volume udara dari kompresor sebesar 650 scfm dan tekanan 250 psi, maka booster dapat memperbesar tekanan menjadi 1000 psi dengan volume udara 650scfm. Untuk operasi tekanan yang lebih tinggi digunakan *two stage booster (high booster)*. Seperti dijelaskan pada **Gambar 3.5.** sebagai berikut :



Gambar 3.5. Booster
(I Made Budi, 2008)

3.6.4. *Aerated Drilling Separator*

Separator yang dipakai harus dapat memisahkan udara dengan lumpur dasar. Cutting yang terbawa akan disalurkan ke shale shaker. Separator udara – lumpur berfungsi memisahkan udara dan lumpur dari lumpur aerasi yang keluar dari annulus. Peralatan ini menggunakan prinsip gaya sentrifugal yang memisahkan udara dan lumpur berdasarkan perbedaan densitas, setelah lumpur bebas dari udara, lumpur mengalir ke shale shaker untuk memisahkan cutting, dan selanjutnya ke tangki lumpur

3.6.5. *Float Valve*

Biasanya terdapat dua *float valve* yang dipasang pada *drillstring*, satu dipasang di atas bit dan satu di permukaan. *Float valve* yang dipasang di dekat

permukaan ini biasanya bertipe *flapper*. Gambar *float valve* seperti pada **Gambar 3.6.** :



Gambar 3.6. Float Valve
(I Made Budi, 2008)

Seperti *float valve* yang dipasang di atas bit berfungsi untuk menahan aliran balik dari annulus menuju *drillstring* dan juga berfungsi untuk menahan aliran gas menuju *drillstring* ketika operasi *tripping*. *Float valve* dipasang di atas bit biasanya yang bertipe *dart*. Untuk *float valve* permukaan disebut juga *string float*, dipasang dekat permukaan (3000 ft – 4000 ft dari permukaan) berfungsi menahan aliran balik gas injeksi ke rig ketika dilakukan penyambungan.

3.6.6. Mist Pump

Mist pump digunakan untuk injeksi *foaming agent*, *corrosion agent* dan bahan kimia yang lain ke dalam *standpipe*. Mist Unit adalah peralatan untuk menginjeksikan air yang memerlukan penggunaan pompa. Tipe pompa yang biasa digunakan adalah sebuah pompa *triplex positive displacement* dengan daya hisap tangki sebesar 10 – 20 barrel. Gambar *mist pump* seperti pada **Gambar 3.7.** :



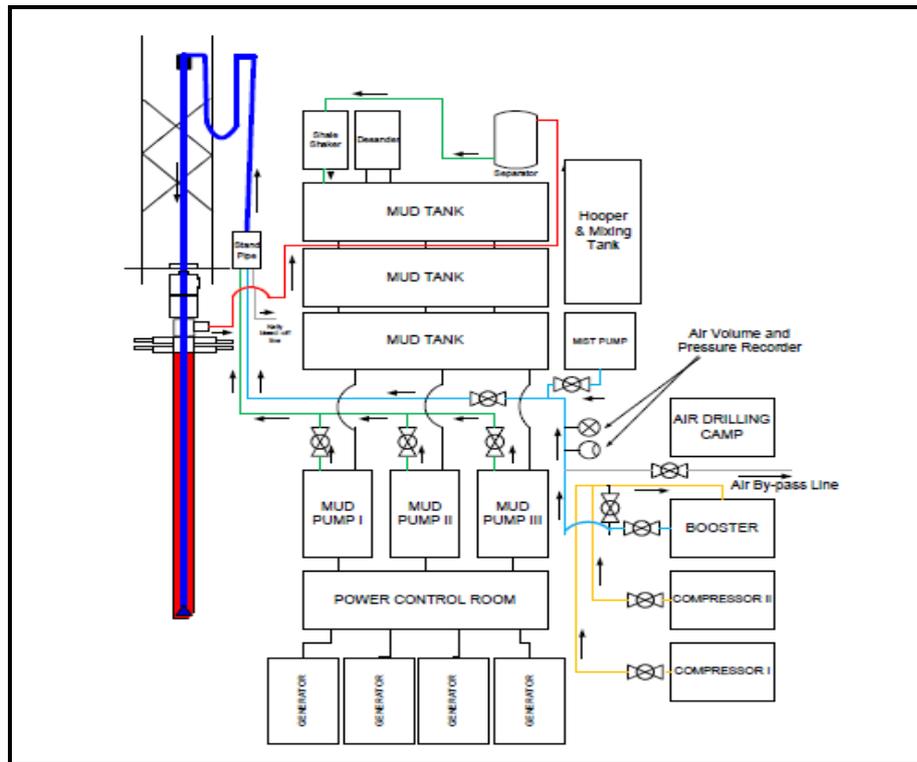
Gambar 3.7. Mist Pump
(I Made Budi, 2008)

3.6.7. Choke Manifold

RBOP mengarahkan aliran ke *choke manifold*. Aliran fluida yang dihasilkan dari pemboran, serbuk bor, fluida pemboran, gas injeksi serta fluida formasi yang lain masuk melalui satu dari dua tipe *choke valve*, choke ini dioperasikan secara *remote*.

3.6.8. Layout Sistem Sirkulasi Aerated Drilling

Peralatan yang digunakan pada pemboran aerasi hampir sama dengan peralatan pemboran *overbalanced*. Dalam pemboran aerasi pelaksanaan pemboran dapat dilakukan dengan sambil memproduksi fluida formasi yang keluar dan kebutuhan gas injeksi maka peralatan tambahan yang digunakan harus bisa menangani hal – hal tersebut. Perbedaan peralatan pada aerated drilling yaitu adanya sambungan pipa udara pada stand pipe. Ketika tripping, aliran udara ke stand pipe dihentikan dan lumpur dipompakan hingga mencapai string check valve yang berada dibagian bawah sambungan pertama drillpipe di bawah kelly atau lebih aman lumpur disirkulasikan hingga bit. Hal ini dijelaskan pada *layuot* sistem sirkulasi pada **gambar 3.8.** di bawah ini :



Gambar 3.8. Layout Sistem Sirkulasi
(I Made Budi, 2008)

Aspek terpenting dari desain program sirkulasi pemboran aerasi adalah untuk menentukan operasional di lapangan. Hasil didesain harus memiliki kriteria sebagai berikut :

1. Memberikan kondisi *underbalanced* yang stabil, yaitu laju alir lumpur dasar dan laju volumetric udara yang dapat memberikan tekanan lubang bor di bawah tekanan formasi.
2. Memberikan kecepatan lumpur aerasi di annulus yang cukup untuk membersihkan lubang bor, dimana kecepatan lumpur aerasi di annulus yang dibutuhkan harus lebih besar dari kecepatan minimal serbuk bor untuk terangkat, dalam pemboran sumur panasbumi tidak selamanya *cutting* terangkat ke permukaan, bila terdapat rekahan yang besar dan banyak, maka *cutting* yang tergerus dibawa oleh lumpur aerasi dan dibuang ke dalam rekahan tersebut.
3. Memberikan laju alir yang cukup untuk menjalankan (*performance*) mud motor dimana mud motor mempunyai batas maksimal dan minimal untuk dilalui

fluida pemboran. Hasil desain ini diharapkan operasional pembora aerasi berjalan tanpa ada masalah.

3.7. Perhitungan Penerapan *Aerated Drilling*

Lumpur aerasi merupakan lumpur yang memberikan kondisi *balance* atau sedikit *underbalance* yang terdiri dari fasa gas dan fasa cairan. Densitas lumpur aerasi antara 4 – 7 ppg. Fasa gas yang diinjeksikan ke dalam lumpur dasar berfungsi untuk mengurangi densitas lumpur dasar yang digunakan. Gas merupakan fluida yang kompresibel, sehingga sifat fisik fluida berubah terhadap perubahan temperatur dan tekanan.

3.7.1. Analisa *Differential Pressure*

Aspek lumpur pemboran yang digunakan ini meliputi perbedaan tekanan (*differential pressure*) yang terjadi yang bisa menyebabkan terjadinya jepitan differensial (*differential pipe sticking*) maupun terjadinya *loss circulation* (*total loss* dan *partial loss*) laju alir lumpur pemboran yang diperlukan untuk pembersihan lubang dan waktu sirkulasi yang diperlukan.

Ada beberapa langkah yang perlu dilakukan untuk mengetahui adanya *differential pipe sticking* maupun *loss circulation*, langkah awalnya adalah menentukan atau menghitung *d-exponent* sebagai berikut :

$$d = \frac{\text{Log}(R / 60N)}{\text{Log}(12W / 1000db)} \dots\dots\dots(3.3)$$

Keterangan :

d = Harga *d-exponent*,

R = ROP, ft/hr

N = Rotary Speed, rpm

W = WOB, klb

Db = Bit Diameter, in

Setelah mendapatkan harga *d-exponent*, langkah selanjutnya menghitung *d-exponent* terkoreksi dengan persamaan sebagai berikut :

$$dc = d \frac{9}{MW} \dots\dots\dots(3.4)$$

Keterangan :

D_c = *d-exponent* koreksi,

D = Harga *d-exponent*,

MW = Mud weight, ppg

Sedangkan untuk menghitung besarnya equivalen mud weight adalah sebagai berikut :

$$EMW = \frac{9d}{dc} - 0,3 \dots\dots\dots(3.5)$$

Keterangan :

EMW = Equivalen mud weight, lb/gal

D_c = *d-exponent* koreksi,

D = Harga *d-exponent*,

Setelah itu untuk menghitung besarnya tekanan formasi digunakan persamaan sebagai berikut :

$$P_f = 0,052 \times EMW \times D \dots\dots\dots(3.6)$$

Keterangan :

P_f = Tekanan Formasi, psi

D = TVD, ft

EMW = Equivalen mud weight, lb/gal

Untuk menghitung besarnya tekanan hidrostatik lumpur pemboran digunakan persamaan sebagai berikut :

$$P_h = 0,052 \times MW \times D \dots\dots\dots(3.7)$$

Keterangan :

P_h = Tekanan hidrostatik lumpur pemboran, psi

MW = Berat jenis lumpur pemboran, lb/gal

D = Tinggi kolom lumpur, ft

Sedangkan perbedaan tekanan (*differential pressure*) dihitung dengan persamaan :

$$DP = P_h - P_f \dots\dots\dots(3.8)$$

Keterangan :

DP = Perbedaan tekanan, psi

P_h = Tekanan hidrostatik, psi

P_f = Tekanan formasi, psi

Agar operasi pemboran dapat berjalan dengan lancar maka diusahakan adanya perbedaan tekanan sebesar 100 – 200 psi. Perbedaan tekanan ini sering disebut sebagai *overbalance pressure*.

3.8. Penentuan Tekanan Formasi (Survey P&T)

Pada pemboran *aerated drilling* diharapkan tekanan hidrostatic lebih kecil dari tekanan formasi karena tidak terjadi loss circulation yang disebabkan dari masuknya fluida pemboran yang masuk kedalam pori dan rekahan.

Pada lapangan, untuk menentukan besarnya tekanan formasi diperoleh dari *historical study* ketika data *pore pressure* didapat dari *Pressure & Temperature Survey* selama shut in.

3.8.1. Metoda PV = Konstan

Penentuan volume udara yang harus diinjeksikan sangat penting dalam keberhasilan pelaksanaan pemboran aerasi, dimana jika terlalu sedikit maka densitas lumpur aerasi tidak serendah yang diharapkan dan masalah hilang sirkulasi tidak dapat dicegah. Jika volume udara terlalu banyak, maka densitas dan viskositas lumpur aerasi akan terlalu rendah, disamping dapat membahayakan peralatan permukaan, juga dapat merusak dinding sumur karena aliran yang terjadi semakin cepat.

Makin besar volume udara, maka lumpur aerasi akan kehilangan kapasitas pengangkatan *cutting*, karena viskositas lumpur akan semakin kecil dan kecepatan slip *cutting* terhadap aliran lumpur semakin besar. Karena menggunakan gas (udara) untuk membantu lumpur aerasi dan gas adalah fluida kompresible, maka hukum-hukum gas dapat digunakan untuk menentukan jumlah udara yang akan diinjeksikan.

Hukum gas ideal :

$$P \times V = Z \times R \times T \dots\dots\dots(3.9)$$

Keterangan :

P = Tekanan (psia)

V = Volume (cuft)

Z = Faktor kompresibilitas (untuk udara Z = 1)

R = Konstanta gas = 10.372 psia.cuft/lb-mole.o

RT = Temperatur (°R), yang diasumsikan berharga tetap untuk sumur dangkal

Persamaan diatas dapat ditulis menjadi :

$$P \times V = \text{Konstan} \dots\dots\dots(3.10)$$

Konstanta ditentukan dari harga tekanan dan volume udara di permukaan dan digunakan untuk memperhitungkan distribusi tekanan, volume, densitas udara, dan densitas lumpur aerasi di setiap kedalaman sumur.

$$\rho_f = \frac{\rho_m \times V_m + \rho_a \times V_a}{V_m + V_a} \dots\dots\dots(3.11)$$

Keterangan :

ρ_f = Densitas lumpur aerasi (pcf)

ρ_m = Densitas lumpur biasa (pcf)

V_m = Volume lumpur biasa (cuft)

ρ_a = Densitas udara (pcf)

V_a = Volume udara (cuft)

3.8.2. Perhitungan *Aerated Drilling* Tahap Berikutnya :

Tahap – tahap perhitungan *aerated drilling* yaitu :

Perhitungan *Pressure* dan *Temperatur* pada tahapan *aerated drilling* dijelaskan pada persamaan berikut ini :

$$\text{Pressure (Psi)} = \frac{P_1 + P_2}{2} \dots\dots\dots(3.12)$$

$$\text{Konversi psi ke bar} = \frac{\text{Psi}}{14.5} \dots\dots\dots(3.13)$$

$$\text{Temperature / T1 (°C)} = 27 + (0.086 \times \text{depth}) \dots\dots\dots(3.14)$$

$$\text{Temperature / T2 (°C)} = 27 + (0.086 \times \text{depth}) \dots\dots\dots(3.15)$$

$$\text{Average Temperature} = \frac{T_1 + T_2}{2} \dots\dots\dots(3.16)$$

$$\text{Konversi °C ke °K} = T \text{ °C} + 273 \dots\dots\dots(3.17)$$

Densitas gas tergantung pada tekanan dan temperatur sehingga dapat ditulis persamaan :

$$\rho_{\text{air}}(P,T) = \frac{1000 \times P}{1000 \times T} \dots\dots\dots(3.18)$$

Keterangan :

P = Tekanan (bar)

T = Temperatur (K)

Setelah mengetahui densitas gas maka dapat ditentukan densitas campuran (*two phase density*)

$$\rho_{\text{mix}} = \frac{\rho_{\text{liq}} \times Q_{\text{liq}} + m_{\text{air}}}{Q_{\text{liq}} + \frac{m_{\text{air}}}{\rho_{\text{air}}(P,T)}} \dots\dots\dots(3.19)$$

Konversi Density mix (ppg)

$$\rho_{\text{mix}} = \frac{\rho_{\text{mix}}}{1000 \times 8.33} \dots\dots\dots (3.20)$$

Keterangan :

ρ_{mix} = Densitas lumpur aerasi (kg / m³)

ρ_{liq} = Densitas lumpur dasar (kg / m³)

ρ_{air} = Densitas gas (kg / m³)

Q_{liq} = Laju alir lumpur dasar (m³ / s)

m_{air} = Massa gas (kg / m³)

Air Mass Flow Rate (kg/s)

$$M_{\text{air}} = \frac{1000 \times 1}{2.967 \times (15 + 273)} \times Q_{\text{Air}} / 3.281^3 / 60 \dots\dots\dots(3.21)$$

Konversi Mud Weight (ppg) ke kg/m³

$$\text{Kg/m}^3 = \frac{MW}{8.33} \times 1000 \dots\dots\dots(3.22)$$

Laju Liquid, Lpm (*liquid per minute*)

$$\text{Lpm} = Q_{\text{liq}} \times 3.785 \dots\dots\dots(3.23)$$

Konversikan Laju Alir (gpm) ke m³/s

$$\text{m}^3 / \text{s} = \text{lpm} \div 1000 \div 60 \dots\dots\dots(3.24)$$

Flow rate mix (m³ / s)

$$Q_{\text{mix}} = Q_{\text{liq}} \text{ m}^3/\text{s} + \rho_{\text{udara}} \text{ kg} / \text{m}^3 \div \rho_{\text{udara}} \text{ kg}/\text{m}^3 \dots\dots\dots(3.25)$$

Konversikan m³/s ke l/s dan gpm

$$l/s = \text{m}^3/\text{s} \times 1000 \dots\dots\dots(3.26)$$

Mix Rate (gpm)

$$\text{Gpm} = \frac{l/s}{3.785} \times 60 \dots\dots\dots(3.27)$$

Annular Velocity

$$A_v = (0.408 \times Q_{liq}) : (IDh^2 - ODp^2) \dots\dots\dots(3.28)$$

Keterangan :

$$A_v = \text{Annular Velocity (ft/s)}$$

$$IDh^2 = \text{Diameter sumur (inch)}$$

$$ODp^2 = \text{Diameter luar pipa (inch)}$$

Reynold Number

$$N_{re} = v_{cri} \times 0.408 \times (IDh^2 - ODp^2) \dots\dots\dots(3.29)$$

Keterangan :

$$V_{cri} = \text{Velocity kritis (ft/s)}$$

$$IDh^2 = \text{Diameter sumur (inch)}$$

$$ODp^2 = \text{Diameter luar pipa (inch)}$$

*Dynamic Pressure Losses*Turbulent ($N_{re} > 2100$)

$$= \frac{\rho_{mix}^{0.75} \times A_v \times PV^{0.25}}{(IDh - OD)^{1.75} \times Ldp \times 3.281} : 1.396 \dots\dots\dots(3.30)$$

Keterangan :

$$Ldp = \text{Panjang drill pipe (ft)}$$

$$\rho_{mix} = \text{Density mix (ppg)}$$

$$A_v = \text{Annular Velocity (ft/s)}$$

Static pressure loss

$$P_{static} = 0.053 \times (M_{wmix}) \times (TVD) \dots\dots\dots(3.31)$$

Pressure Loss Total (psi)

$$P_{Lt} \text{ (psi)} = \text{Dynamic pressure loss} + \text{static pressure loss} \dots\dots\dots(3.32)$$

Bottom Hole Pressure (psi)

$$BHP \text{ (psi)} = P_{Top} \text{ (psi)} + P_{Lt} \text{ (psi)} \dots\dots\dots(3.33)$$

$$V_{gp} = V_{gs} \frac{T_2 \times P_1}{T_1 \times P_2} \dots\dots\dots(3.34)$$

$$\rho_{gs} = \frac{2.730 \times S \times P_1}{T_1} \dots\dots\dots(3.35)$$

$$\rho_{gp} = \rho_{gs} \left(\frac{T_1 \times P_2}{T_2 \times P_1} \right) \dots\dots\dots(3.36)$$

$$Q_{gp} = \frac{Q_{gs}}{\left(\frac{T_1 \times P_2}{T_2 \times P_1} \right)} \dots\dots\dots(3.37)$$

$$Q_{total} = Q_{mud} + Q_{gp} \dots\dots\dots(3.38)$$

$$v_{ann} = \frac{24.5 \times Q_A}{(D_h^2 - D_{op}^2)} \dots\dots\dots (3.39)$$

$$N_{re} = \frac{15.47 \times D_{ep} \times \rho_A \times v_{ann}}{\mu_A} \dots\dots\dots (3.40)$$

$$Rasio\ Udara = Q_{gs} \div Q_{mud} \div 0.11368 \dots\dots\dots(3.41)$$

$$\Delta P = P_f - P_h \dots\dots\dots(3.42)$$

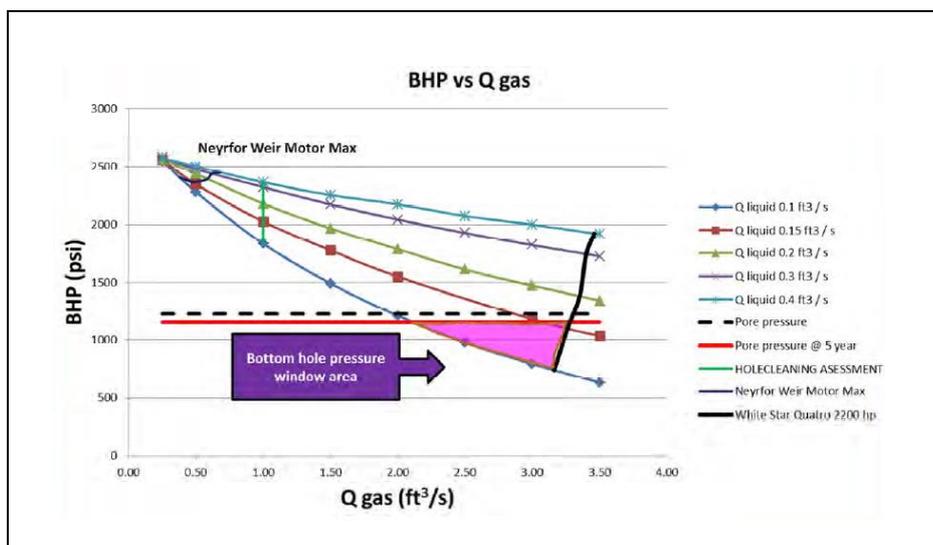
$$Q_{gs} = Q_{gp} \times \left(\frac{T_1 \times P_2}{T_2 \times P_1} \right) \dots\dots\dots(3.43)$$

Setelah mendapat hasil *bottom hole pressure*, dapat ditentukan *bottom hole pressure window*. Menurut **Arliyando** (2012), terdapat 5 kriteria yang dihitung, yaitu :

1. *Pore pressure*
2. *Bottom hole pressure*
3. *Minimum bottom hole pressure stability*
4. *Maximum pump rate*
5. *Hole cleaning assesment*

Langkah pertama yaitu memprediksi rate *underbalanced drilling* yang harus diimplementasikan. Laju alir volumetrik gas biasanya meningkat saat kedalaman juga meningkat untuk mempertahankan sifat fluida aerasi di dalam annulus (**Lyon**, 2009). Setelah menghitung BHP berdasarkan rate injeksi udara dan rate injeksi lumpur, dapat dibuat grafik :

1. *Bottom Hole Pressure Vs Qgas*
2. *Qmix Vs Qgas*



Gambar 3.9. BHP Vs Qgas
(Ashadi, Panuarch Dumrongthai, 2013)

Gambar 3.9. dapat dijelaskan sebagai berikut: Penilaian pembersihan lubang bor akan menghasilkan data baru V_{minimum} untuk Q_{gas} tertentu. Seri data lain akan dihasilkan dari perhitungan actual velocity. Dua data series akan memberikan gradien yang berbeda sehingga memberikan kemungkinan terjadinya garis yang berpotongan. Perpotongan tersebut memberikan kemampuan minimum pada Q_{gas} tertentu untuk diimplementasikan. Nilai Q_{gas} akan menjadi input untuk perhitungan BHP baru. Hasilnya Q_{gas} (P) dan BHP merupakan kriteria untuk BHP *Window*.

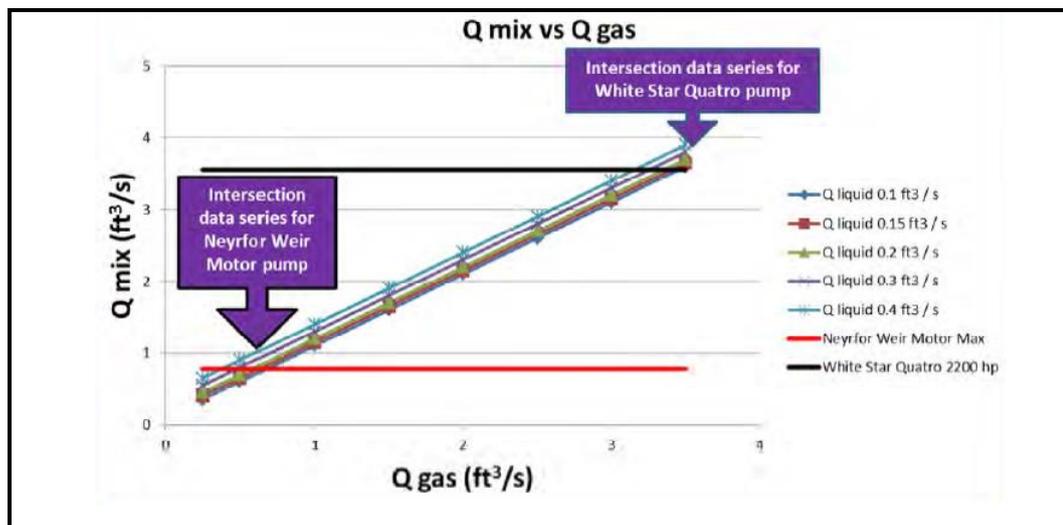
Mud pump memiliki kemampuan maksimal untuk memompa lumpur aerasi. Maksimum pompa akan menghasilkan satu seri data. Seri data lain akan menghasilkan perhitungan *bottom hole pressure* dengan data Q_{gas} Vs Q_{mix} . Dua data ini akan memberikan perpotongan satu sama lain. Perpotongan memberikan kemampuan maksimum pada Q_{gas} tertentu untuk diimplementasikan.

Nilai Q_{gas} akan diinput pada perhitungan bottom hole pressure dijelaskan pada **Gambar 3.10**. Viskositas lumpur aerasi adalah ketahanan lumpur aerasi terhadap aliran, dengan satuan *centipoise*. Untuk menentukan besarnya viskositas fluida dua fasa pada setiap kedalaman yang mempunyai tekanan dan temperatur yang berbeda dapat dicari dengan menggunakan persamaan *Chen Correlation* di bawah ini :

$$\mu_A = \frac{(PV + 5 YP \times d_p)}{A_v} \dots \dots \dots (3.44)$$

Keterangan :

- μ_A = Viskositas lumpur aerasi (cp)
- PV = Plastic viscosity (cp)
- YP = Yield point (lb / 100_{sqft})

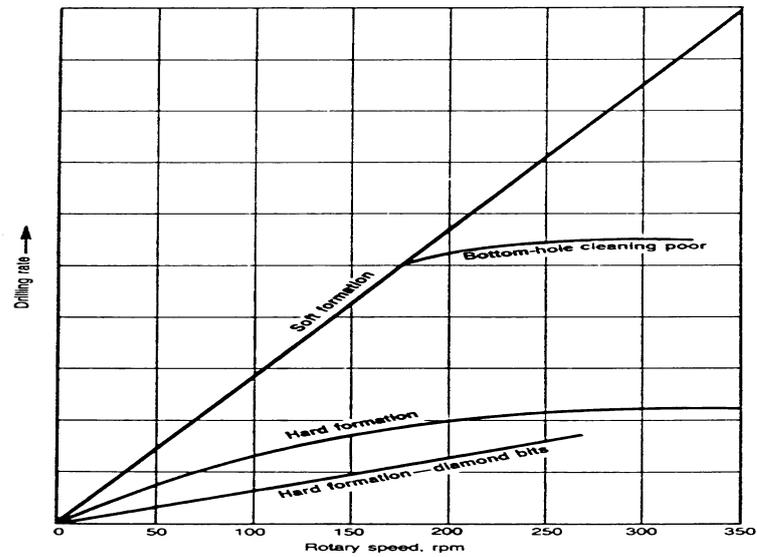


Gambar 3.10. Mix rate Vs Qgas
(Ashadi, Panuarch Dumrongthai, 2013)

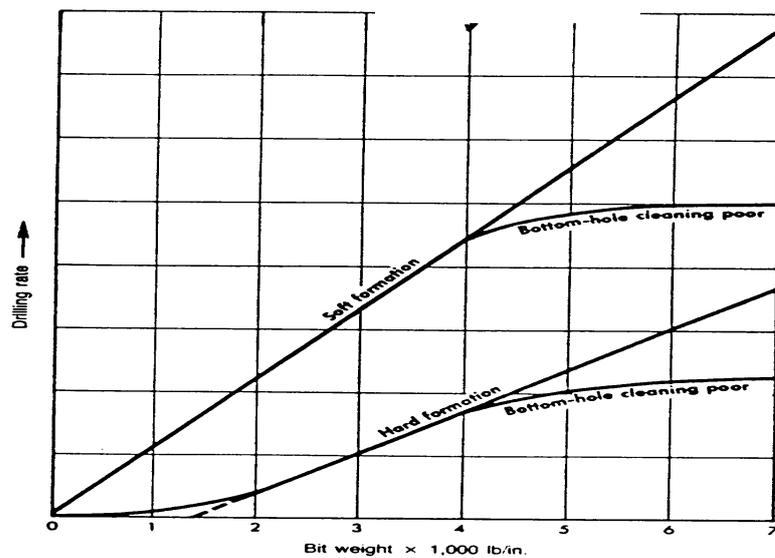
Hal ini berarti bahwa viskositas lumpur aerasi pada suatu kedalaman akan berubah tergantung dari fraksi volume gasnya. Semakin dalam suatu pemboran, maka viskositas lumpur aerasi dalam *drillstring* akan semakin besar karena fraksi lumpur gas dalam lumpur aerasi semakin berkurang. Sebaliknya ketika lumpur aerasi bersirkulasi menuju permukaan, viskositas lumpur aerasi di annulus akan semakin berkurang, karena di dalam annulus fraksi gas bertambah.

3.9. Parameter Pemboran (ROP, RPM, Torsi, WOB)

Pada **Gambar 3.11.** hubungan antara ROP vs RPM terlihat bahwa pada formasi lunak ROP dan RPM berbanding lurus atau ketika ROP naik maka RPM juga naik. Namun untuk formasi yang keras RPM semakin besar, ROP cenderung menurun.

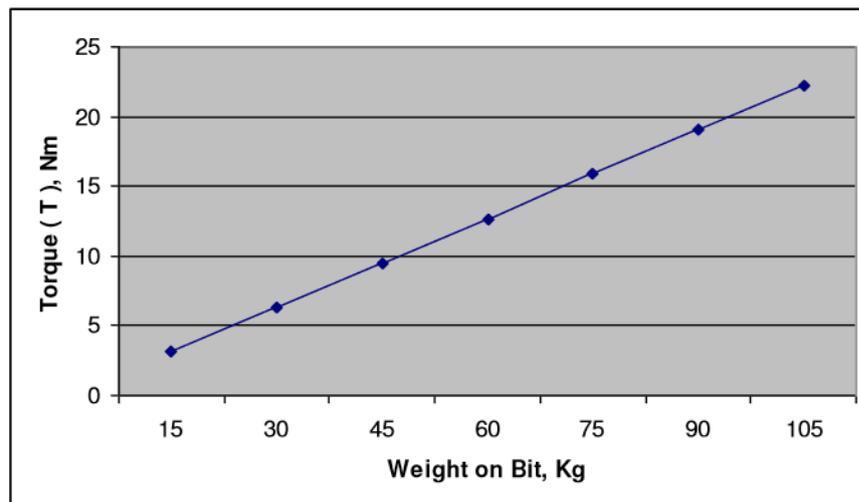


Gambar 3.11. ROP vs RPM



Gambar 3.12. ROP vs WOB

Pada **Gambar 3.12.** hubungan antara ROP vs WOB terlihat bahwa pada formasi lunak ROP dan RPM berbanding lurus atau ketika ROP naik maka RPM juga naik. Namun ketika *bottom hole cleaning* yang buruk WOB cenderung naik dan ROP turun. Untuk formasi yang keras WOB naik namun ROP naik secara perlahan-lahan.



Gambar 3.13. Torque vs WOB

Pada **Gambar 3.13.** hubungan antara Torsi dengan WOB, dimana terbanding lurus ketika WOB naik maka Torsi juga naik.

Dari hubungan beberapa parameter pemboran yaitu ROP dan torsi, saat ROP naik maka torsinya turun. Hubungan ROP dan WOB, semakin kecil WOB maka ROPnya cenderung naik. Hubungan ROP dan RPM didapat semakin tinggi RPM maka semakin tinggi ROPnya.

BAB IV

PERHITUNGAN SUMUR XX LAPANGAN YY

4.1. Pemboran *Aerated Drilling* pada Sumur XX Pertamina Geothermal Energy

Lapangan panasbumi didominasi rekahan dalam jumlah yang besar, tekanan formasi dari lapangan panasbumi biasanya sebesar 8.33 ppg kolom dan 1 – 2 ppg kolom uap. Oleh karena itu akan terjadi hilang sirkulasi jika menggunakan air atau menggunakan lumpur biasa sebagai fluida pemboran. Untuk itu diperlukan suatu metode pemboran untuk mengurangi terjadinya hilang sirkulasi.

Untuk mengatasi hal ini dilakukan pemboran dengan metode *aerated drilling* yang bertujuan untuk menurunkan densitas kolom lumpur pada annulus agar memiliki kesetimbangan dan tekanannya lebih kecil dari tekanan formasi agar tidak terjadi *lost circulation*. Apabila tidak menggunakan metode *aerated drilling* tetapi menggunakan metode *blind drilling* dimana dilakukannya pemboran dengan air secara terus menerus agar fluida dan cutting dapat terbuang di dalam rekahan.

Masalah utama yang timbul dengan metode ini yaitu tidak selalu dan tidak semua cutting pemboran tersebut dapat dibuang atau benar-benar hilang ke dalam rekahan (*permeable zones*) dikarenakan terbatasnya permeabilitas formasi yang di bor sehingga *cutting – cutting* tersebut hanya tinggal di bibir rekahan oleh karena itu yang terbuang pada rekahan hanya fluidanya saja. Kondisi ini menyebabkan sumur menjadi labil, sewaktu – waktu cutting tersebut dapat masuk lagi ke dalam sumur yang akhirnya menyebabkan rangkaian pipa pemboran terjepit yang diakibatkan oleh penumpukan cutting.

Keuntungan dari metode *aerated drilling* yaitu meningkatkan laju pemboran (ROP), mencegah pipa terjepit, mengurangi terjadinya kehilangan sirkulasi, dan mengurangi terjadinya kerusakan formasi. Oleh karena itu, untuk mengetahui sudah optimumnya metode *aerated drilling* maka diperlukan perhitungan : *Pressure top, bottom hole pressure, pressure formation, Mix density,*

Flow mix, annular velocity, Reynold Number. Untuk pengangkatan cutting dengan metode : *Cutting Transport (FT)* dan *Concentration Cutting (Ca)*. Dimana harga $Ct > 90\%$ dan $Ca < 5\%$ sebagai syarat cutting terangkat dan tidak mengendap. Dengan hasil akhir dapat menghitung Ratio antara injeksi lumpur dengan injeksi gas.

4.1.1. Lumpur Dasar Yang Digunakan

Lumpur dasar yang digunakan untuk lubang bor berjenis KCL polimer yang berbahan dasar KCL sebagai *clay inhibitor*, dengan tambahan barazan (*viscosifier*), PAC RE (*filtration control*), KOH (*alkalinity source*), dan baracor (*corrosion inhibitor*).

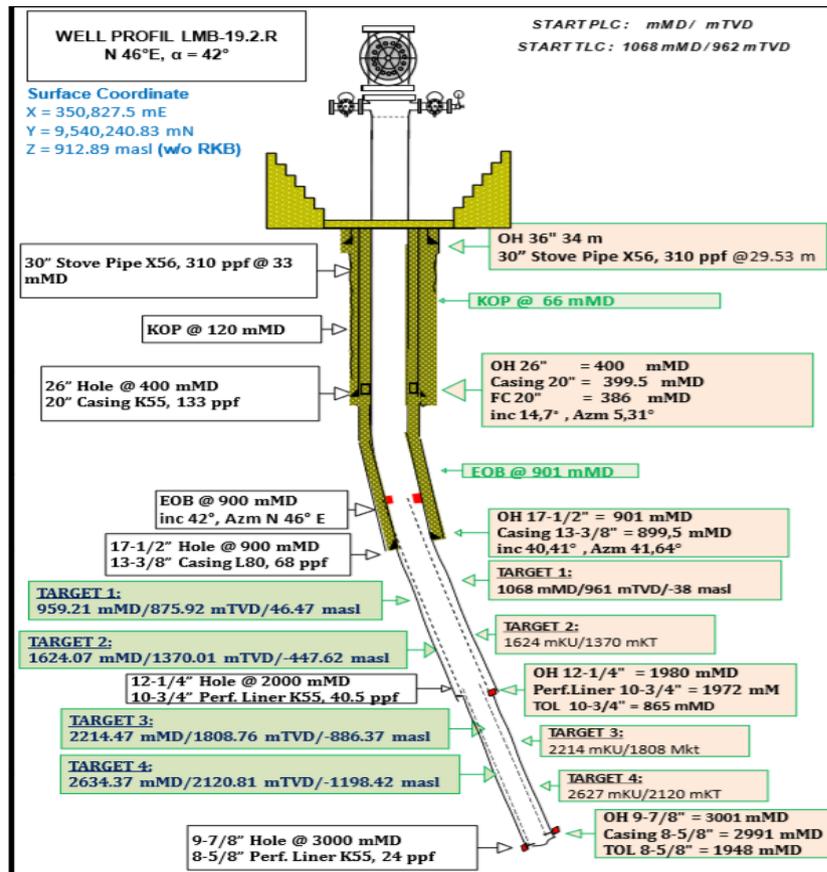
4.1.2. Kontruksi Sumur XX Lapangan YY

Pada trayek conductor menggunakan casing grade K-55 dengan bit tricone 36". Pada trayek surface menggunakan casing grade K-55 dengan bit jenis rock bit 26". Pada trayek intermediate menggunakan casing grade L-50 dengan bit jenis rock bit 17.5". Pada production liner menggunakan liner grade K-55 dengan bit jenis PDC bit 12.25" dan 9.875". Dapat dilihat pada **Tabel IV-1** dimana menunjukkan penggunaan casing pada sumur XX.

Tabel IV-1.
Data Casing Sumur XX

| Casing Data | | | | | |
|------------------|---------------|---------------|-------------|----------------|------------|
| Casing / Liner | Jumlah joints | Size (Inches) | ID (Inches) | DESCRIPTION | Length (m) |
| Conductor | 2 | 30 | 28.50 | X-56 ; 310 ppf | 29.5 |
| Surface | 35 | 20 | 18.73 | K-55 ; 133 ppf | 400.2 |
| Intermediate | 77 | 13-3/8 | 12.415 | L-80 ; 68 ppf | 899.5 |
| Perforated Liner | 93 | 10-3/4 | 10.05 | K-55, 40.5 ppf | 1972 |
| Perforated Liner | 90 | 8-5/8 | 8.097 | K-55 ; 24 ppf | 1043.07 |

Pada **Gambar 4.1.** menunjukkan konstruksi sumur pada lapangan panasbumi YY dimana mulai total *loss circulation* pada kedalaman 962 mTVD.



Gambar 4.1. Konstruksi Sumur XX Lapangan YY

Berikut pada Tabel IV-2 menunjukkan *drilling parameter* pada sumur XX lapangan panasbumi YY.

Tabel IV-2.
Drilling Parameter

| Drilling Parameters | | | | | | |
|---------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|--------------------|
| Hole Section | ROP (m/mtr) | WOB (Klbs) | RPM/Tot RPM | Flow Rate (gpm) | SPP (psi) | Torque (Kftlb) |
| 36" | 2.9 - 3.9 Avg= 7 | 1 - 10 Avg= 6.2 | 21 - 61 Avg= 46 | 550 - 600 Avg= 587 | 103 - 192 Avg= 129 | 1 - 3 Avg= 2 |
| 26" | 2.5 - 54.5 Avg= 6.2 | 1 - 38 Avg= 16.9 | 86 - 158 Avg= 125 | 720 - 900 Avg= 836 | 248 - 2118 Avg= 1243 | 0 - 9 Avg= 3 |
| 17-1/2" | 2.6 - 12.0 Avg= 4.6 | 2.6 - 38 Avg= 23.4 | 112 - 155 Avg= 134 | 756 - 948 Avg= 887 | 1078 - 2178 Avg= 2123 | 2 - 17 Avg= 7.0 |
| 12-1/4" TCB | 2.15 - 8.48 Avg= 5.2 | 0 - 43 Avg= 22.9 | 143-201 Avg= 190 | 743-761 Avg= 752 | 1294-2024 Avg= 1898 | 0 - 21 Avg= 21 |
| 9-7/8" PDC | 1.7 - 9.8 Avg= 4.5 | 0 - 33 Avg= 8.8 | 146 - 194 Avg= 167 | 688 - 860 Avg= 700 | 1465 - 2260 Avg= 1760 | 0 - 28 Avg= 21 |

4.2. Penerapan Teori Terhadap Data Lapangan Aktual

Berikut beberapa perhitungan data actual / data yang diperoleh dari Lapangan.

4.2.1. Perhitungan Injeksi Udara

a) Trayek 10-3/4" Lubang 12-1/4"

Data – data:

Data yang digunakan dalam perhitungan ini adalah data pada kedalaman 1875 m kedalaman ukur (MD) atau 1564 m kedalaman tegak (TVD).

| | |
|---------------------------|--------------------------------|
| Kedalaman TVD | : 1564 meter = 5219.59 ft |
| Tekanan permukaan | : 14 psi |
| SPP | : 1893 psi |
| Gradien tekanan formasi | : 0.433 psi/ft |
| Temperature permukaan | : 77 °F |
| Gradient temperature | : 0.086 °F/ft |
| Lumpur dasar yang dipakai | : Water Polimer mud (8,33 ppg) |
| Laju alir lumpur dasar | : 752 gpm = 100.53 cfm |
| Laju alir udara | : 1700 scfm |
| Gas yang dipakai | : udara (0,0182 cp) |
| Air gravity | : 1 |
| ROP | : 13.33 m/hr = 43.74 ft/hr |
| RPM | : 50 rpm |

1) Volume gas injeksi

a) Menghitung temperatur dan tekanan rata-rata pada kedalaman 1564 m (5219.59 ft):

$$\begin{aligned}
 T_1 &= 77 \text{ }^\circ\text{F} \\
 &= 537 \text{ }^\circ\text{R} \\
 T_2 &= \{(D/2) \times \Delta T\} + T_1 \\
 &= \{(5385.50 / 2) \times 0,086\} + 537 \text{ }^\circ\text{R} \\
 &= 768.58 \text{ }^\circ\text{R}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_1 &= 14 \text{ psia} \\
 P_2 &= \{(D \times \Delta P) + P_1\}/2 \\
 &= \{(5385.50 \times 0,433) + 14\}/2 \\
 &= 1173.39 \text{ psi}
 \end{aligned}$$

b) Volume udara pada kondisi kedalaman 5219.59 ft :

$$\begin{aligned}
 V_{gp} &= V_{gs} \frac{T_2 \times P_1}{T_1 \times P_2} \dots\dots\dots(3.34) \\
 V_{gp} &= 1 \times \left(\frac{768.58 \times 14}{537 \times 1173.39} \right) \\
 V_{gp} &= 32.445281 \text{ cuft}
 \end{aligned}$$

2. Densitas udara

Densitas udara pada kondisi permukaan dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \rho_{gs} &= \frac{2.730 \times S \times P_1}{T_1} \dots\dots\dots(3.35) \\
 \rho_{gs} &= (2.703 \times 1 \times 14) / 537 \\
 \rho_{gs} &= 0.0705 \text{ pcf}
 \end{aligned}$$

Maka densitas udara pada kondisi kedalaman 5219.59 ft adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \rho_{gp} &= \rho_{gs} \left(\frac{T_1 \times P_2}{T_2 \times P_1} \right) \dots\dots\dots(3.36) \\
 \rho_{gp} &= 0.01 \times \left(\frac{537 \times 1173.39}{768.58 \times 14} \right) \\
 \rho_{gp} &= 4.13 \text{ pcf}
 \end{aligned}$$

3. Laju volumetric udara

Laju volumetrik gas injeksi pada kedalaman 5219.59 ft dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 Q_{gp} &= \frac{Q_{gs}}{\left(\frac{T_1 \times P_2}{T_2 \times P_1} \right)} \dots\dots\dots(3.37) \\
 Q_{gp} &= 28.76 \text{ scfm} \\
 Q_{gp} &= 215.10 \text{ gpm}
 \end{aligned}$$

Jadi total laju alir (udara + lumpur dasar) pada kedalaman 5219.59 ft adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} Q_{\text{total}} &= Q_{\text{mud}} + Q_{\text{gp}} \dots\dots\dots(3.38) \\ Q_{\text{total}} &= 752 + 215.10 \\ Q_{\text{total}} &= 967.10 \text{ gpm} \end{aligned}$$

c) Trayek 8-5/8" Lubang 9-7/8"

Data – data :

Data yang digunakan dalam perhitungan ini adalah data pada kedalaman 3001 m kedalaman ukur (MD) atau 2393.53 m kedalaman tegak (TVD), yaitu kedalaman sebelum memasuki zona *partial loss*.

| | |
|---------------------------|--------------------------------|
| Kedalaman TVD | : 2393.53 meter = 7852.79 ft |
| Tekanan permukaan | : 14 psi |
| SPP | : 1890 psi |
| Gradien tekanan formasi | : 0.433 psi/ft |
| Temperature permukaan | : 77 °F |
| Gradient temperature | : 0.086 °F/ft |
| Lumpur dasar yang dipakai | : Water Polimer mud (8,33 ppg) |
| Laju alir lumpur dasar | : 693 gpm = 92.65 cfm |
| Laju alir udara | : 1700 scfm |
| Gas yang dipakai | : udara (0,0182 cp) |
| Air gravity | : 1 |
| ROP | : 15.38 m/hr = 50.4593 ft/hr |
| RPM | : 50 rpm |

1) Volume gas injeksi

- a) Menghitung temperatur dan tekanan rata-rata pada kedalaman 894 m (2933.07 ft) :

$$\begin{aligned} T_1 &= 77 \text{ °F} \\ &= 537 \text{ °R} \\ T_2 &= \{(D/2) \times \Delta T\} + T_1 \\ &= \{(7852.79 / 2) \times 0,086\} + 537 \text{ °R} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 874.67 \text{ }^\circ\text{R} \\
 P_1 &= 14 \text{ psia} \\
 P_2 &= \{(D \times \Delta P) + P_1\}/2 \\
 &= \{(7852.79 \times 0,433) + 14\}/2 \\
 &= 1707.76 \text{ psi}
 \end{aligned}$$

b) Volume udara pada kondisi kedalaman 7852.79 ft :

$$V_{gp} = V_{gs} \frac{T_2 \times P_1}{T_1 \times P_2} \dots\dots\dots(3.34)$$

$$V_{gp} = 1 \times \left(\frac{874.67 \times 14}{537 \times 1701.76} \right)$$

$$V_{gp} = 25.37 \text{ cuft}$$

2) Densitas udara

Densitas udara pada kondisi permukaan dapat dihitung sebagai berikut :

$$\rho_{gs} = \frac{2.730 \times S \times P_1}{T_1} \dots\dots\dots(3.35)$$

$$\rho_{gs} = (2.703 \times 1 \times 14) / 537$$

$$P_{gs} = 0.0705 \text{ pcf}$$

Maka densitas udara pada kondisi kedalaman 7852.79 ft adalah sebagai berikut:

$$\rho_{gp} = \rho_{gs} \left(\frac{T_1 \times P_2}{T_2 \times P_1} \right) \dots\dots\dots(3.36)$$

$$\rho_{gp} = 0.01 \times \left(\frac{537 \times 1701.76}{874.67 \times 14} \right)$$

$$P_{gp} = 5.28 \text{ pcf}$$

3) Laju volumetric udara

Laju volumetrik gas injeksi pada kedalaman 7852.79 ft dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$Q_{gp} = \frac{Q_{gs}}{\left(\frac{T_1 \times P_2}{T_2 \times P_1} \right)} \dots\dots\dots(3.37)$$

$$Q_{gp} = 27.19 \text{ scfm}$$

$$Q_{gp} = 203.39 \text{ gpm}$$

Jadi total laju alir (udara + lumpur dasar) pada kedalaman 7852.79 ft adalah sebagai berikut :

$$Q_{total} = Q_{mud} + Q_{gp} \dots\dots\dots(3.38)$$

$$Q_{total} = 693 + 203.39$$

$$Q_{total} = 896.39 \text{ gpm}$$

Berikut tabulasi data perhitungan pada **Tabel IV-3.** yang menunjukkan perhitungan actual pada lapangan penggunaan aerated drilling kedalaman vs liquid.

Tabel IV-3.
Data Hasil Perhitungan Aktual Aplikasi *Aerated Drilling* Kedalaman vs Liquid (flowrate, fraksi, density dan PV)

| depth | | LIQUID | | | | |
|--------|---------|--------------|--------|--------|---------|---------|
| TVD | | flowrate (Q) | | fraksi | density | PV |
| meter | ft | gpm | cfm | % | ppg | cp |
| 0 | 0.00 | | | 4.35 | | |
| 394 | 1292.65 | 902 | 120.59 | 64.53 | 8.33 | 62.3084 |
| 635.8 | 2085.96 | 907 | 121.26 | 74.60 | 8.33 | 62.3084 |
| 799.7 | 2623.69 | 930 | 124.33 | 78.69 | 8.33 | 62.3084 |
| 837.5 | 2747.70 | 948 | 126.74 | 79.46 | 8.33 | 62.3084 |
| 1037.1 | 3402.56 | 857 | 114.57 | 82.73 | 8.33 | 62.3084 |
| 1227.9 | 4028.54 | 761 | 101.74 | 85.01 | 8.33 | 62.3084 |
| 1429.1 | 4688.65 | 752 | 100.53 | 86.84 | 8.33 | 62.3084 |
| 1563.5 | 5129.59 | 756 | 101.07 | 87.84 | 8.33 | 62.3084 |
| 1790 | 5872.70 | 702 | 93.85 | 89.21 | 8.33 | 62.3084 |
| 1941 | 6368.11 | 702 | 93.85 | 89.96 | 8.33 | 62.3084 |
| 2100 | 6889.76 | 702 | 93.85 | 90.65 | 8.33 | 62.3084 |
| 2255.5 | 7399.93 | 693 | 92.65 | 91.24 | 8.33 | 62.3084 |
| 2394.4 | 7855.64 | 693 | 92.65 | 91.71 | 8.33 | 62.3084 |

Berikut tabulasi data perhitungan actual aplikasi aerated drilling kedalaman vs udara dapat dilihat pada **Tabel IV-4** dan data perhitungan actual penggunaan aerated drilling vs aerated dapat dilihat pada **Tabel IV-5.**

Tabel IV-4.
Data Hasil Perhitungan Aktual Aplikasi *Aerated Drilling* Kedalaman vs Udara (flow surf, flow depth, fraksi dan density)

| depth | | UDARA | | | | | |
|--------|---------|-----------|----------|-------|--------|---------|------|
| TVD | | flow surf | flow @ D | | fraksi | density | |
| meter | ft | scfm | gpm | cfm | % | pcf | ppg |
| 0 | 0.00 | | | | 95.65 | 0.07 | 0.01 |
| 394 | 1292.65 | 400.00 | 161.08 | 21.53 | 35.47 | 1.31 | 0.17 |
| 635.8 | 2085.96 | 400.00 | 106.55 | 14.25 | 25.40 | 1.98 | 0.26 |
| 799.7 | 2623.69 | 400.00 | 88.12 | 11.78 | 21.31 | 2.39 | 0.32 |
| 837.5 | 2747.70 | 400.00 | 84.88 | 11.35 | 20.54 | 2.48 | 0.33 |
| 1037.1 | 3402.56 | 600.00 | 107.47 | 14.37 | 17.27 | 2.94 | 0.39 |
| 1227.9 | 4028.54 | 1400.00 | 220.47 | 29.47 | 14.99 | 3.35 | 0.45 |
| 1429.1 | 4688.65 | 1700.00 | 239.48 | 32.02 | 13.16 | 3.74 | 0.50 |
| 1563.5 | 5129.59 | 1700.00 | 224.65 | 30.03 | 12.16 | 3.99 | 0.53 |
| 1790 | 5872.70 | 1700.00 | 204.66 | 27.36 | 10.79 | 4.38 | 0.59 |
| 1941 | 6368.11 | 1200.00 | 136.88 | 18.30 | 10.04 | 4.62 | 0.62 |
| 2100 | 6889.76 | 1400.00 | 151.74 | 20.29 | 9.35 | 4.86 | 0.65 |
| 2255.5 | 7399.93 | 1600.00 | 165.77 | 22.16 | 8.76 | 5.09 | 0.68 |
| 2394.4 | 7855.64 | 1700.00 | 169.76 | 22.69 | 8.29 | 5.28 | 0.71 |

Tabel IV-5.
Data Hasil Perhitungan Aktual Aplikasi *Aerated Drilling* Kedalaman vs *Aerated* (total flow, density, dan viskositas)

| depth | | AERATED | | | | |
|--------|---------|-----------|--------|---------|------|-----------|
| TVD | | tot. flow | | density | | viscosity |
| meter | ft | gpm | cfm | pcf | ppg | cp |
| 0 | 0.00 | | | | | |
| 394 | 1292.65 | 1063.08 | 142.12 | 53.07 | 7.09 | 0.652 |
| 635.8 | 2085.96 | 1013.55 | 135.50 | 55.97 | 7.48 | 0.751 |
| 799.7 | 2623.69 | 1018.12 | 136.11 | 57.12 | 7.64 | 0.791 |
| 837.5 | 2747.70 | 1032.88 | 138.09 | 57.39 | 7.67 | 0.798 |
| 1037.1 | 3402.56 | 964.47 | 128.94 | 55.69 | 7.45 | 0.830 |
| 1227.9 | 4028.54 | 981.47 | 131.21 | 49.06 | 6.56 | 0.853 |
| 1429.1 | 4688.65 | 991.48 | 132.55 | 48.16 | 6.44 | 0.871 |
| 1563.5 | 5129.59 | 980.65 | 131.10 | 48.95 | 6.54 | 0.881 |
| 1790 | 5872.70 | 906.65 | 121.21 | 49.23 | 6.58 | 0.894 |
| 1941 | 6368.11 | 838.88 | 112.15 | 52.90 | 7.07 | 0.901 |
| 2100 | 6889.76 | 853.74 | 114.14 | 52.10 | 6.96 | 0.908 |
| 2255.5 | 7399.93 | 858.77 | 114.81 | 51.26 | 6.85 | 0.914 |
| 2394.4 | 7855.64 | 862.76 | 115.34 | 51.09 | 6.83 | 0.919 |

4.2.2. Kecepatan dan Pola Aliran Lumpur Aerasi

Data geometri lubang bor dan tubular dapat dilihat pada **Tabel IV-6**.

Tabel IV-6.

**Data Geometri Lubang Bor dan Tubular Sumur XX PERTAMINA
GEOHERMAL ENERGY Lapangan YY**

| Interval | selubung | Pahat | drill pipe | | drill collar | |
|-------------|----------|--------|------------|------|--------------|------|
| | | | ID | OD | ID | OD |
| (mku) | (in) | (in) | (in) | (in) | (in) | (in) |
| 0 - 34 | 30 | 36 | | | | |
| 34 - 400 | 20 | 26 | 4.276 | 5 | 2.81 | 8 |
| 400 - 900 | 13 3/8 | 17 1/2 | 4.276 | 5 | 2.81 | 8 |
| 900 - 2000 | 10 3/4 | 12 1/4 | 4.276 | 5 | 2.81 | 8 |
| 2000 - 3000 | 8 5/8 | 9 7/8 | 4.276 | 5 | 2.81 | 8 |

a) Trayek 10-3/4" Lubang 12-1/4" pada Kedalaman 1564 m TVD

- 1) Kecepatan lumpur aerasi pada annulus *drill collar* dihitung sebagai berikut:

$$v_{ann} = \frac{24.5 \times Q_A}{(D_h^2 - D_{op}^2)} \dots \dots \dots (3.39)$$

$$V_{ann} = \frac{24.5 \times 980.65}{((12.25)^2 - (8)^2)}$$

$$V_{ann} = 279.167 \text{ fpm}$$

- 2) Kecepatan lumpur aerasi pada annulus *drill pipe* dihitung sebagai berikut :

$$v_{ann} = \frac{24.5 \times Q_A}{(D_h^2 - D_{op}^2)} \dots \dots \dots (3.39)$$

$$V_{ann} = \frac{24.5 \times 980.65}{((12.25)^2 - (5)^2)}$$

$$V_{ann} = 192.111 \text{ fpm}$$

- 3) Bilangan Reynold (NRe) untuk kecepatan lumpur aerasi pada annulus *drill collar* dihitung sebagai berikut :

$$N_{re} = \frac{15.47 \times D_{ep} \times \rho_A \times v_{ann}}{\mu_A} \dots \dots \dots (3.40)$$

$$N_{Re} = \frac{15.47 \times (12.25-8) \times 6.54 \times 279}{15.2}$$

$$N_{re} = 7899.156$$

$N_{Re} > 4000$ maka pola aliran lumpur aerasi di annulus antara lubang 12.25 inch dan DC 8 inch pada kedalaman 1564 m TVD adalah turbulen.

- 4) Bilangan **Reynold** (N_{Re}) untuk kecepatan lumpur aerasi pada annulus *drill pipe* dihitung sebagai berikut :

$$N_{re} = \frac{15.47 \times D_{ep} \times \rho_A \times v_{ann}}{\mu_A} \dots\dots\dots(3.40)$$

$$N_{Re} = \frac{15.47 \times (12.25-5) \times 6.54 \times 192}{15.2}$$

$$N_{re} = 9272.922$$

$N_{Re} > 4000$ maka pola aliran lumpur aerasi di annulus antara lubang 12.25 inch dan DP 5 inch pada kedalaman 1564 m TVD adalah turbulen.

b) Trayek 8-5/8" Lubang 9-7/8" pada Kedalaman 2394 m TVD

- 1) Kecepatan lumpur aerasi pada annulus *drill collar* dihitung sebagai berikut:

$$v_{ann} = \frac{24.5 \times Q_A}{(D_h^2 - D_{op}^2)} \dots\dots\dots(3.39)$$

$$V_{ann} = \frac{24.5 \times 862}{((9.875)^2 - (8)^2)}$$

$$V_{ann} = 630.677 \text{ fpm}$$

- 2) Kecepatan lumpur aerasi pada annulus *drill pipe* dihitung sebagai berikut :

$$v_{ann} = \frac{24.5 \times Q_A}{(D_h^2 - D_{op}^2)} \dots\dots\dots(3.39)$$

$$V_{ann} = \frac{24.5 \times 862}{((9.875)^2 - (5)^2)}$$

$$V_{ann} = 291.489 \text{ fpm}$$

- 3) Bilangan **Reynold** (N_{Re}) untuk kecepatan lumpur aerasi pada annulus *drill collar* dihitung sebagai berikut :

$$N_{re} = \frac{15.47 \times D_{ep} \times \rho_A \times v_{ann}}{\mu_A} \dots\dots\dots(3.40)$$

$$N_{Re} = \frac{15.47 \times (9.875-8) \times 6.83 \times 630}{12.5}$$

$$N_{re} = 9938.755$$

$N_{Re} > 4000$ maka pola aliran lumpur aerasi di annulus antara lubang 9.875 inch dan DC 8 inch pada kedalaman 2394 m TVD adalah turbulen.

- 4) Bilangan **Reynold** (N_{Re}) untuk kecepatan lumpur aerasi pada annulus *drill pipe* dihitung sebagai berikut :

$$N_{re} = \frac{15.47 \times D_{ep} \times \rho_A \times v_{ann}}{\mu_A} \dots\dots\dots(3.40)$$

$$N_{Re} = \frac{15.47 \times (9.875-5) \times 6.83 \times 291}{12.5}$$

$$N_{re} = 11943.210$$

$N_{Re} > 4000$ maka pola aliran lumpur aerasi di annulus antara lubang 9.875 inch dan DP 5 inch pada kedalaman 2394 m TVD adalah turbulen.

4.2.2.1. Rasio Injeksi Udara dengan Injeksi Lumpur Dasar

1. **Trayek 10-3/4" Lubang 12-1/4" pada Kedalaman 1564 m TVD**

Rasio injeksi udara dihitung sebagai berikut :

$$Rasio\ Udara = Q_{gs} \div Q_{mud} \div 0.11368 \dots\dots\dots(3.41)$$

$$= 1700 : 756 : 0.11368$$

$$Rasio\ Udara = 16.82$$

2. **Trayek Production 8-5/8" Lubang 9-7/8" pada Kedalaman 2394 m TVD**

Rasio injeksi udara dihitung sebagai berikut :

$$Rasio\ Udara = Q_{gs} \div Q_{mud} \div 0.11368 \dots\dots\dots(3.41)$$

$$= 1700 : 693 : 0.11368$$

$$Rasio\ Udara = 18.35$$

4.3. Optimasi Aerated Drilling

Pada optimasi *aerated drilling* dilakukan setting densitas lumpur aerasi yang tepat untuk mendapatkan laju alir aerasi optimum pada *mud pump*, karena *mud pump* yang digunakan memiliki batasan laju alir maksimum 1200 gpm pada lubang 12-1/4" trayek 10-3/4" dan 900 gpm pada lubang 9-7/8" trayek 8-5/8". Kemudian perhitungan rasio injeksi udara dan lumpur dasar yang optimum di permukaan.

Perhitungan optimasi yang digunakan pada kedalaman 1564 mKU (5126.59 ft) kedalaman tegak (TVD) lubang 12-1/4" trayek 10-3/4" dan pada kedalaman 2394 mKU (7855.64 ft) kedalaman tegak (TVD) lubang 9-7/8" trayek 8-5/8" Sumur XX Lapangan YY PT. Pertamina Geothermal Energy.

4.3.1. Optimasi *Aerated Drilling* Pada Kedalaman 1564 mTVD Lubang 12-1/4" trayek 10-3/4"

Data-data :

| | |
|---------------------------|--------------------------------|
| Kedalaman TVD | : 1564 meter = 5126.59 ft |
| Tekanan permukaan | : 14 psi |
| SPP | : 1916 psi |
| Gradien tekanan formasi | : 0.433 psi/ft |
| Temperature permukaan | : 77 °F |
| Gradient temperature | : 0.086 °F/ft |
| Lumpur dasar yang dipakai | : Water Polimer mud (8,33 ppg) |
| Laju alir lumpur dasar | : 925 |
| Gas yang dipakai | : udara (0,018 cp) |
| Air gravity | : 1 |
| Desire aerated density | : 6.6 ppg |

a. Tekanan Hidrostatik (P_h) yang Diharapkan dan Tekanan Formasi (P_f @ depth)

- 1) Tekanan hidrostatik yang diharapkan pada kedalaman 5126.59 ft dapat dihitung sebagai berikut :

$$P_h = 0.052 \times \rho_d \times Depth$$

$$P_h = 1848.30 \text{ psi}$$

- 2) Tekanan formasi pada kedalaman 5126.59 ft dapat dihitung sebagai berikut :

$$P_f = \Delta P \times Depth$$

$$P_f = 2221.935 \text{ psi}$$

- 3) Perbedaan tekanan yang terjadi adalah :

$$\Delta P = P_f - P_h \dots\dots\dots(3.42)$$

$$\Delta P = 2221.935 - 1848.30$$

$$\Delta P = 373.635$$

b. Volume Gas Injeksi (V_{gp})

- 1) Menghitung temperatur dan tekanan rata-rata pada kedalaman 1564 m (5126.59 ft) :

$$T_1 = 77 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$= 537 \text{ }^\circ\text{R}$$

$$T_2 = \{(D/2) \times \Delta T\} + T_1$$

$$= \{(5126.59/2) \times 0,086\} + 537 \text{ }^\circ\text{R}$$

$$= 768.58 \text{ }^\circ\text{R}$$

$$P_1 = 14 \text{ psia}$$

$$P_2 = \{(D \times \Delta P) + P_1\}/2$$

$$= \{(5126.59 \times 0,433) + 14\}/2$$

$$= 2221.935 \text{ psi}$$

- 2) Menghitung Volume 1 scf udara pada kondisi kedalaman 5126.59 ft:

$$V_{gp} = V_{gs} \frac{T_2 \times P_1}{T_1 \times P_2} \dots\dots\dots(3.34)$$

$$V_{gp} = 1 \times \left(\frac{768.58 \times 14}{537 \times 1173.39} \right)$$

$$V_{gp} = 32.445 \text{ cuft}$$

c. Densitas Udara

- 1) Densitas udara pada kondisi permukaan dapat dihitung sebagai berikut:

$$\rho_{gs} = \frac{2.730 \times S \times P_1}{T_1} \dots\dots\dots(3.35)$$

$$\rho_{gs} = (2.703 \times 1 \times 14) / 537$$

$$P_{gs} = 0.0705 \text{ pcf}$$

- 2) Densitas udara pada kondisi kedalaman 5126.59 ft adalah sebagai berikut:

$$\rho_{gp} = \rho_{gs} \left(\frac{T_1 \times P_2}{T_2 \times P_1} \right) \dots\dots\dots(3.36)$$

$$\rho_{gp} = 0.01 \times \left(\frac{537 \times 1173.39}{768.58 \times 14} \right)$$

$$P_{gp} = 4.13 \text{ pcf}$$

$$P_{gp} = 0.55 \text{ ppg}$$

d. Laju Volumetrik Total (Qtotal)

- 1) Laju volumetrik gas injeksi pada kedalaman 5126.59 ft dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$Q_{gp} = \frac{(\rho_m \times Q_m) - (\rho_A \times Q_m)}{(\rho_A - \rho_{gp})} \dots\dots\dots(3.37)$$

$$Q_{gp} = 215.10 \text{ gpm}$$

$$Q_{gp} = 28.76 \text{ scfm}$$

- 2) Total laju alir aerasi (udara + lumpur dasar) pada kedalaman 5126.59 ft adalah sebagai berikut :

$$Q_{total} = Q_{mud} + Q_{gp} \dots\dots\dots(3.38)$$

$$Q_{total} = 925 + 215.10$$

$$Q_{total} = 1140.10 \text{ gpm}$$

Nilai Q_{total} masih berada di bawah batas Q_{maks} *mud motor*, jadi masih memungkinkan optimasi kerja *mud motor*.

e. Laju Alir Udara Permukaan (Qgs)

Laju alir udara pada permukaan dihitung sebagai berikut :

$$Q_{gs} = Q_{gp} \times \left(\frac{T_1 \times P_2}{T_2 \times P_1} \right) \dots\dots\dots(3.43)$$

$$Q_{gs} = 1683.9563 \text{ scfm}$$

f. Kecepatan dan Pola Aliran Lumpur Aerasi

- 1) Kecepatan lumpur aerasi pada annulus *drill collar* dihitung sebagai berikut :

$$V_{ann} = \frac{24.5 \times Q_A}{(D_h^2 - D_{op}^2)} \dots\dots\dots(3.39)$$

$$V_{ann} = \frac{24.5 \times 1189}{((12.25)^2 - (8)^2)}$$

$$V_{ann} = 338.417 \text{ fpm}$$

- 2) Kecepatan lumpur aerasi pada annulus *drill pipe* dihitung sebagai berikut :

$$v_{ann} = \frac{24.5 \times Q_A}{(D_h^2 - D_{op}^2)} \dots\dots\dots(3.39)$$

$$V_{ann} = \frac{24.5 \times 1189}{((12.25)^2 - (5)^2)}$$

$$V_{ann} = 232.883 \text{ fpm}$$

- 3) Bilangan Reynold (NRe) untuk kecepatan lumpur aerasi pada annulus *drill collar* dihitung sebagai berikut :

$$N_{re} = \frac{15.47 \times D_{ep} \times \rho_A \times v_{ann}}{\mu_A} \dots\dots\dots(3.40)$$

$$N_{Re} = \frac{15.47 \times (12.25-8) \times 6.5 \times 338}{14.4}$$

$$N_{re} = 10145.576$$

NRe > 4000 maka pola aliran lumpur aerasi di annulus antara lubang 12-1/4" dan DC 8" pada kedalaman 5126.59 ft adalah turbulen.

- 4) Bilangan Reynold (NRe) untuk kecepatan lumpur aerasi pada annulus *drill pipe* dihitung sebagai berikut :

$$N_{re} = \frac{15.47 \times D_{ep} \times \rho_A \times v_{ann}}{\mu_A} \dots\dots\dots(3.40)$$

$$N_{Re} = \frac{15.47 \times (9.875-8) \times 6.5 \times 232}{12.5}$$

$$N_{re} = 11910.024$$

NRe > 4000 maka pola aliran lumpur aerasi di annulus antara lubang 12-1/4" dan DP 8" pada kedalaman 5126.59 ft adalah turbulen.

g. Rasio Injeksi Udara dengan Injeksi Lumpur Dasar

Rasio injeksi udara dihitung sebagai berikut :

$$\text{Rasio Udara} = Q_{gs} \div Q_{mud} \div 0.13368 \dots\dots\dots(3.41)$$

$$\text{Rasio Udara} = 1996.10 : 925 : 0.13368$$

$$\text{Rasio Udara} = 16.14$$

Jadi rasio antara injeksi udara dengan lumpur dasar di permukaan adalah **16.14 : 1**

4.3.2. Optimasi *Aerated Drilling* Pada Kedalaman 2394 mTVD Lubang 9-7/8” Trayek 8-5/8”

Data-data :

| | |
|---------------------------|-------------------------------|
| Kedalaman TVD | : 2394 meter = 7855.64 ft |
| Tekanan permukaan | : 14 psi |
| SPP | : 1890 psi |
| Gradien tekanan formasi | : 0.433 psi/ft |
| Temperature permukaan | : 77 °F |
| Gradient temperature | : 0.086 °F/ft |
| Lumpur dasar yang dipakai | : Water Polimer mud (8,4 ppg) |
| Laju alir lumpur dasar | : 693 gpm = 92.647 cfm |
| Gas yang dipakai | : udara (0,018 cp) |
| Air gravity | : 1 |
| Desire aerated density | : 6.6 ppg |

a. Tekanan Hidrostatik (P_h) yang Diharapkan dan Tekanan Formasi (P_f @ depth)

- 1) Tekanan hidrostatik yang diharapkan pada kedalaman 7855.64 ft dapat dihitung sebagai berikut :

$$P_h = 0.052 \times \rho_d \times Depth$$

$$P_h = 2696.05 \text{ psi}$$

- 2) Tekanan formasi pada kedalaman 7855.64 ft dapat dihitung sebagai berikut :

$$P_f = \Delta P \times Depth$$

$$P_f = 3402.75 \text{ psi}$$

- 3) Perbedaan tekanan yang terjadi adalah :

$$\Delta P = P_f - P_h \dots\dots\dots(3.42)$$

$$\Delta P = 3402.75 - 2696.05$$

$$\Delta P = 706.7$$

b. Volume Gas Injeksi (V_{gp})

- 1) Menghitung temperatur dan tekanan rata-rata pada kedalaman 7855.64 ft :

$$\begin{aligned} T_1 &= 77 \text{ }^\circ\text{F} \\ &= 537 \text{ }^\circ\text{R} \\ T_2 &= \{(D/2) \times \Delta T\} + T_1 \\ &= \{(7855.64/2) \times 0,086\} + 537 \text{ }^\circ\text{R} \\ &= 874.67 \text{ }^\circ\text{R} \\ P_1 &= 14 \text{ psia} \\ P_2 &= \{(D \times \Delta P) + P_1\}/2 \\ &= \{(7855.64 \times 0,433) + 14\}/2 \\ &= 3401.51 \text{ psi} \end{aligned}$$

- 2) Menghitung Volume 1 scf udara pada kondisi kedalaman 7855.64 ft:

$$V_{gp} = V_{gs} \frac{T_2 \times P_1}{T_1 \times P_2} \dots\dots\dots(3.34)$$

$$V_{gp} = 1 \times \left(\frac{874.67 \times 14}{537 \times 1701.76} \right)$$

$$V_{gp} = 25.37 \text{ cuft}$$

c. Densitas Udara

- 1) Densitas udara pada kondisi permukaan dapat dihitung sebagai berikut:

$$\rho_{gs} = \frac{2.730 \times S \times P_1}{T_1} \dots\dots\dots(3.35)$$

$$\rho_{gs} = (2.703 \times 1 \times 14) / 537$$

$$\rho_{gs} = 0.0705 \text{ pcf}$$

- 2) Densitas udara pada kondisi kedalaman 7855.64 ft adalah sebagai berikut:

$$\rho_{gp} = \rho_{gs} \left(\frac{T_1 \times P_2}{T_2 \times P_1} \right) \dots\dots\dots(3.36)$$

$$\rho_{gp} = 0.01 \times \left(\frac{537 \times 1701.76}{874.67 \times 14} \right)$$

$$P_{gp} = 5.28 \text{ pcf}$$

$$P_{gp} = 0.71 \text{ ppg}$$

d. Laju Volumetrik Total (Qtotal)

- 1) Laju volumetrik gas injeksi pada kedalaman 7855.64 ft dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$Q_{gp} = \frac{(\rho_m \times Q_m) - (\rho_A \times Q_m)}{(\rho_A - \rho_{gp})} \dots\dots\dots(3.37)$$

$$Q_{gp} = 203.39 \text{ gpm}$$

$$Q_{gp} = 27.19 \text{ scfm}$$

- 2) Total laju alir aerasi (udara + lumpur dasar) pada kedalaman 7855.64 ft adalah sebagai berikut :

$$Q_{total} = Q_{mud} + Q_{gp} \dots\dots\dots(3.38)$$

$$Q_{total} = 693 + 203.39$$

$$Q_{total} = 896.39 \text{ gpm}$$

Nilai Q_{total} masih berada di bawah batas Q_{maks} *mud motor*, jadi masih memungkinkan optimasi kerja *mud motor*.

e. Laju Alir Udara Permukaan (Qgs)

Laju alir udara pada permukaan dihitung sebagai berikut :

$$Q_{gs} = Q_{gp} \times \left(\frac{T_1 \times P_2}{T_2 \times P_1} \right) \dots\dots\dots(3.43)$$

$$Q_{gs} = 2036.3968 \text{ scfm}$$

f. Kecepatan dan Pola Aliran Lumpur Aerasi

- 1) Kecepatan lumpur aerasi pada annulus *drill collar* dihitung sebagai berikut:

$$v_{ann} = \frac{24.5 \times Q_A}{(D_h^2 - D_{op}^2)} \dots\dots\dots(3.39)$$

$$V_{ann} = \frac{24.5 \times 890}{((9.875)^2 - (8)^2)}$$

$$V_{ann} = 655.269 \text{ fpm}$$

- 2) Kecepatan lumpur aerasi pada annulus *drill pipe* dihitung sebagai berikut :

$$v_{ann} = \frac{24.5 \times Q_A}{(D_h^2 - D_{op}^2)} \dots\dots\dots(3.39)$$

$$V_{ann} = \frac{24.5 \times 890}{((12.25)^2 - (5)^2)}$$

$$V_{ann} = 302.856 \text{ fpm}$$

- 3) Bilangan Reynold (NRe) untuk kecepatan lumpur aerasi pada annulus *drill collar* dihitung sebagai berikut :

$$N_{re} = \frac{15.47 \times D_{ep} \times \rho_A \times v_{ann}}{\mu_A} \dots\dots\dots(3.40)$$

$$N_{Re} = \frac{15.47 \times (9.875-8) \times 7.9 \times 650}{12.1}$$

$$N_{re} = 23377.648$$

NRe > 4000 maka pola aliran lumpur aerasi di annulus antara lubang 9-7/8" dan DC 8" pada kedalaman 7855.64 ft adalah turbulen.

- 4) Bilangan Reynold (NRe) untuk kecepatan lumpur aerasi pada annulus *drill pipe* dihitung sebagai berikut :

$$N_{re} = \frac{15.47 \times D_{ep} \times \rho_A \times v_{ann}}{\mu_A} \dots\dots\dots(3.40)$$

$$N_{Re} = \frac{15.47 \times (9.875-5) \times 7.9 \times 300}{12.1}$$

$$N_{re} = 18431.710$$

NRe > 4000 maka pola aliran lumpur aerasi di annulus antara lubang 9-7/8" dan DP 8" pada kedalaman 7855.64 ft adalah turbulen.

g. Rasio Injeksi Udara dengan Injeksi Lumpur Dasar

Rasio injeksi udara dihitung sebagai berikut :

$$\text{Rasio Udara} = Q_{gs} \div Q_{mud} \div 0.13368 \dots\dots\dots(3.41)$$

$$\text{Rasio Udara} = 2036.90 : 693 : 0.13368$$

$$\text{Rasio Udara} = 21.99$$

Jadi rasio antara injeksi udara dengan lumpur dasar di permukaan adalah **21.99 : 1**

Berikut Tabulasi data perhitungan optimasi **Tabel IV-7** yang menunjukkan data hasil perhitungan optimasi kedalaman vs liquid.

Pada **Tabel IV-8** menunjukkan data hasil perhitungan optimasi kedalaman vs udara dan pada **Tabel IV-9** menunjukkan perhitungan optimasi kedalaman vs *aerated*.

Tabel IV-7.
Data Hasil Perhitungan Optimasi Kedalaman vs Liquid (Laju Alir, Fraksi, dan density)

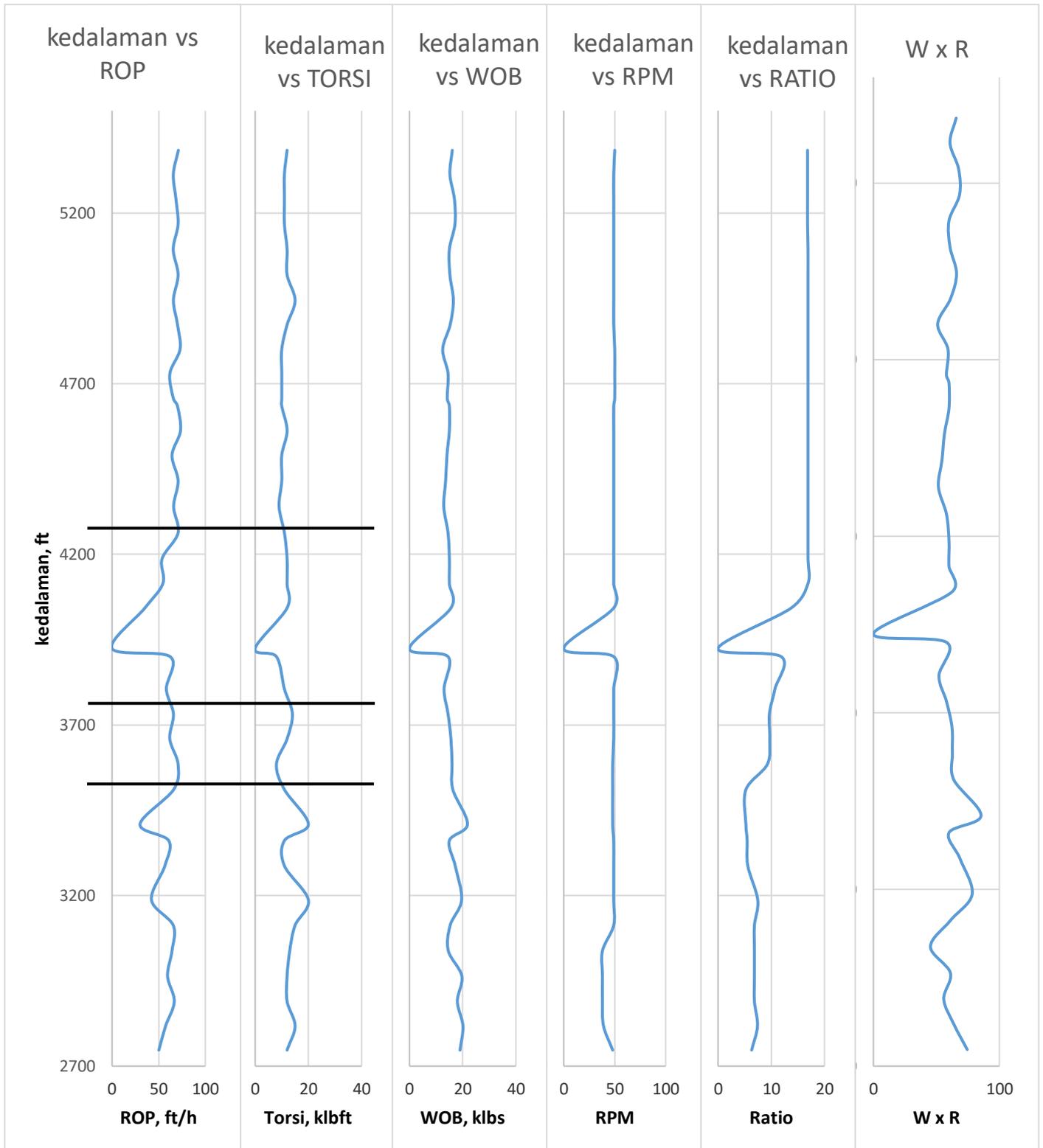
| depth (TVD) | | LIQUID | | |
|-------------|----------|----------|-------------|----------------|
| (m) | (ft) | Q gpm | fraksi % | density ppg |
| 0 | 0 | 0 | 5.633806 | 0 |
| 394 | 1292.651 | 750 | 70.48179 | 8.81 |
| 635.8 | 2085.958 | 850 | 79.39465 | 8.82 |
| 799.7 | 2623.688 | 900 | 82.89541 | 8.82 |
| 837.5 | 2747.704 | 900 | 83.54035 | 8.8 |
| 1037.1 | 3402.559 | 925 | 86.27333 | 8.33 |
| 1227.9 | 4028.543 | 925 | 88.1536 | 8 |
| 1429.1 | 4688.648 | 925 | 89.64879 | 8.33 |
| 1563.5 | 5129.593 | 925 | 90.45365 | 8.33 |
| 1790 | 5872.704 | 695 | 91.55965 | 8.33 |
| 1941 | 6368.11 | 695 | 92.16482 | 8.33 |
| 2100 | 6889.764 | 695 | 92.71484 | 8.33 |
| 2255.5 | 7399.935 | 693 | 93.18286 | 8.33 |
| 2394.4 | 7855.643 | 693 | 93.55283 | 8.33 |

Tabel IV-8.
Data Hasil Perhitungan Optimasi Kedalaman vs Udara

| depth (TVD) | | Udara | | | |
|-------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | | Q @ D | Q surf | fraksi | density |
| (m) | (ft) | gpm | scfm | % | pcf |
| 0 | 0 | | | 94.36619 | 0.070469 |
| 394 | 1292.651 | 422.1714 | 1048.355 | 29.51821 | 1.308944 |
| 635.8 | 2085.958 | 345.0026 | 1295.124 | 20.60535 | 1.978748 |
| 799.7 | 2623.688 | 280.5508 | 1273.538 | 17.10459 | 2.392774 |
| 837.5 | 2747.704 | 278.2975 | 1311.533 | 16.45965 | 2.484113 |
| 1563.5 | 5129.593 | 263.7748 | 1996.103 | 9.546352 | 3.98888 |
| 1790 | 5872.704 | 199.9037 | 1660.5 | 8.440348 | 4.378441 |
| 1941 | 6368.11 | 200.9877 | 1762.027 | 7.835178 | 4.621091 |
| 2100 | 6889.764 | 202.081 | 1864.425 | 7.285161 | 4.863186 |
| 2255.5 | 7399.935 | 202.521 | 1954.733 | 6.817143 | 5.087668 |
| 2394.4 | 7855.643 | 203.3983 | 2036.902 | 6.447175 | 5.278666 |

Tabel IV-9.
Data Hasil Perhitungan Optimasi Kedalaman vs Aerated

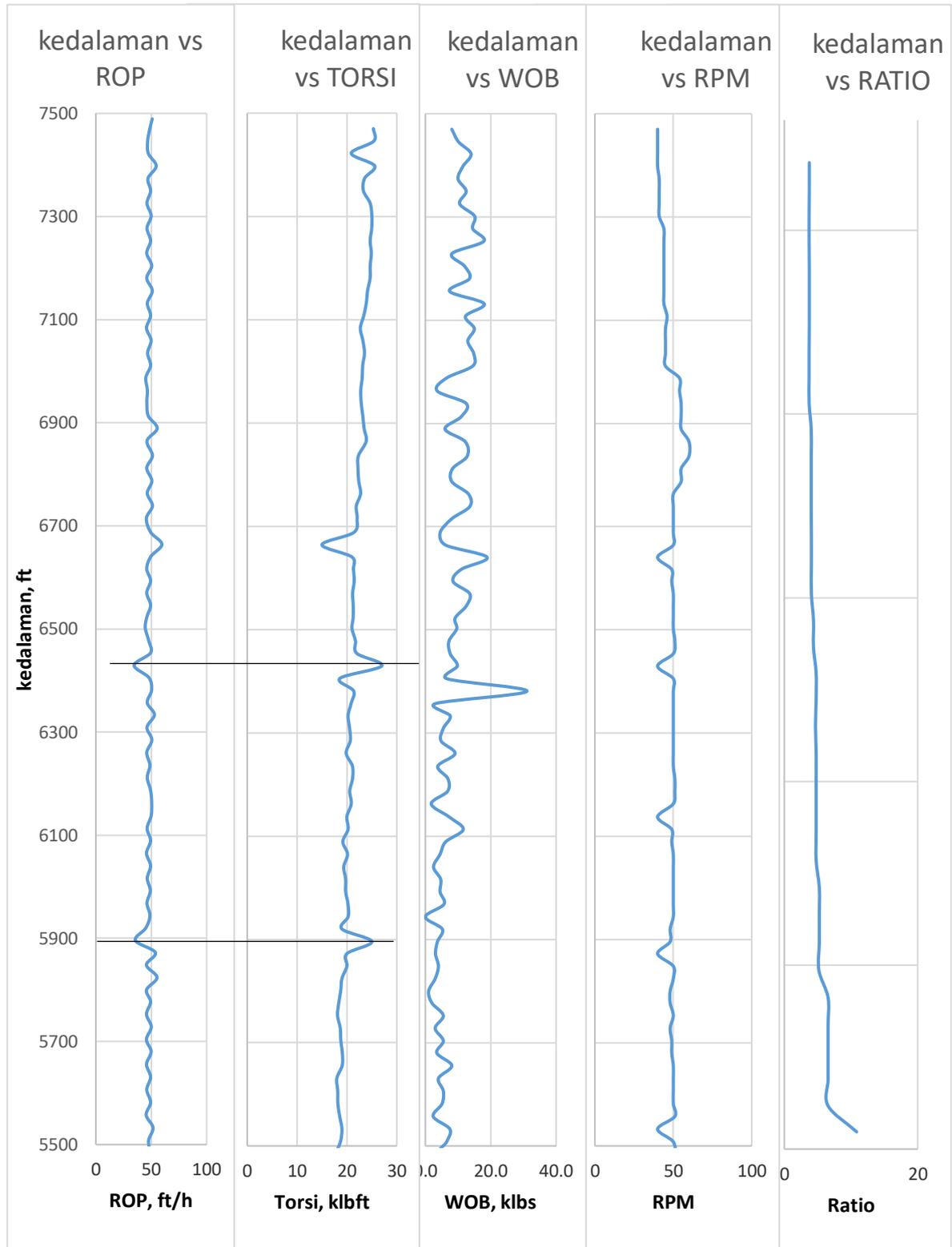
| depth (TVD) | | AERATED | | |
|-------------|----------|-----------|---------|-----------|
| | | tot. flow | density | viscosity |
| (m) | (ft) | gpm | ppg | cp |
| 0 | 0 | | | |
| 394 | 1292.651 | 1172.171 | 5.7 | 9.168006 |
| 635.8 | 2085.958 | 1195.003 | 6.35 | 11.119 |
| 799.7 | 2623.688 | 1180.551 | 6.8 | 11.60847 |
| 837.5 | 2747.704 | 1178.297 | 6.8 | 10.86324 |
| 1227.9 | 4028.543 | 1193.688 | 6.3 | 14.10673 |
| 1429.1 | 4688.648 | 1187.346 | 6.6 | 14.34569 |
| 1563.5 | 5129.593 | 1188.775 | 6.6 | 14.47432 |
| 1790 | 5872.704 | 894.9037 | 6.6 | 11.90429 |
| 1941 | 6368.11 | 895.9877 | 6.6 | 11.98285 |
| 2100 | 6889.764 | 897.081 | 6.6 | 12.9814 |
| 2255.5 | 7399.935 | 895.521 | 6.6 | 11.18318 |
| 2394.4 | 7855.643 | 896.3983 | 6.6 | 12.16304 |



Gambar 4.2.
Grafik Kedalaman vs ROP, Torsi, WOB, RPM dan Ratio Pada Trayek 12 ¼"

Tabel IV-10.
Kedalaman vs ROP, Torsi, WOB, RPM, GPM, SCFM, Ratio Trayek 12 ¼”

| Depth (m) | Depth (ft) | ROP (ft/h) | Torsi (klbft) | WOB (klbs) | RPM | GPM | SCFM | Ratio | W x R |
|-----------|------------|------------|---------------|------------|-----|-----|------|---------|----------|
| 901 | 2746.967 | 50.2 | 12 | 19 | 48 | 948 | 800 | 6.3127 | 74.44898 |
| 931 | 2817.651 | 57.4 | 15 | 20.1 | 39 | 807 | 800 | 7.41566 | 63.99184 |
| 961 | 2889.68 | 66.7 | 12 | 18 | 38 | 875 | 800 | 6.83936 | 55.83673 |
| 991 | 2963.841 | 59.5 | 12 | 19.7 | 38 | 875 | 800 | 6.83936 | 61.1102 |
| 1021 | 3038.1 | 64.3 | 13 | 14.6 | 38 | 875 | 800 | 6.83936 | 45.2898 |
| 1051 | 3112.622 | 65.6 | 15 | 15.3 | 49 | 875 | 800 | 6.83936 | 61.2 |
| 1081 | 3186.848 | 42.3 | 20 | 19.6 | 49 | 802 | 800 | 7.4619 | 78.4 |
| 1111 | 3286.79 | 56.6 | 11 | 17.2 | 49 | 802 | 600 | 5.59642 | 68.8 |
| 1141 | 3360.918 | 60.7 | 11 | 15 | 49 | 820 | 600 | 5.47357 | 60 |
| 1170 | 3408.79 | 30 | 20 | 21.8 | 48 | 857 | 600 | 5.23726 | 85.42041 |
| 1201 | 3510.42 | 66 | 11 | 16.3 | 48 | 857 | 600 | 5.23726 | 63.86939 |
| 1231 | 3584.548 | 70.8 | 8 | 16 | 48 | 807 | 1000 | 9.26958 | 62.69388 |
| 1261 | 3658.971 | 61.9 | 12 | 15.6 | 49 | 770 | 1000 | 9.715 | 62.4 |
| 1291 | 3732.574 | 65.8 | 14 | 14.5 | 49 | 775 | 1000 | 9.65232 | 58 |
| 1321 | 3804.931 | 58.2 | 11 | 13 | 49 | 770 | 1100 | 10.6865 | 52 |
| 1351 | 3900.051 | 62.3 | 8 | 14.5 | 49 | 756 | 1200 | 11.8739 | 58 |
| 1381 | 3924 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1400 | 0 | 0 |
| 1411 | 4042.731 | 35.2 | 12 | 15.6 | 49 | 761 | 1400 | 13.7619 | 62.4 |
| 1441 | 4114.596 | 54.5 | 12 | 15 | 49 | 752 | 1700 | 16.9108 | 60 |
| 1471 | 4186.822 | 53.6 | 12 | 15 | 49 | 752 | 1700 | 16.9108 | 60 |
| 1501 | 4262.688 | 70.8 | 11 | 14.5 | 49 | 752 | 1700 | 16.9108 | 58 |
| 1531 | 4339.834 | 66 | 9 | 12.9 | 49 | 752 | 1700 | 16.9108 | 51.6 |
| 1561 | 4415.274 | 70.8 | 10 | 13.6 | 49 | 752 | 1700 | 16.9108 | 54.4 |
| 1591 | 4490.517 | 64.3 | 10 | 14.1 | 49 | 752 | 1700 | 16.9108 | 56.4 |
| 1621 | 4562.414 | 73.4 | 12 | 15 | 49 | 752 | 1700 | 16.9108 | 60 |
| 1651 | 4633.754 | 70.2 | 10 | 15 | 49 | 752 | 1700 | 16.9108 | 60 |
| 1681 | 4658.059 | 65.6 | 10 | 14.2 | 50 | 752 | 1700 | 16.9108 | 57.95918 |
| 1711 | 4730.055 | 62 | 10 | 14.5 | 50 | 752 | 1700 | 16.9108 | 59.18367 |
| 1771 | 4872.637 | 70.2 | 12 | 15.3 | 49 | 752 | 1700 | 16.9108 | 61.2 |
| 1801 | 4944.239 | 65.8 | 15 | 16.5 | 49 | 752 | 1700 | 16.9108 | 66 |
| 1831 | 5019.089 | 70.8 | 12 | 15.2 | 49 | 752 | 1700 | 16.9108 | 60.8 |
| 1861 | 5093.774 | 65.6 | 12 | 15 | 49 | 752 | 1700 | 16.9108 | 60 |
| 1891 | 5167.378 | 70.8 | 11 | 17.1 | 49 | 756 | 1700 | 16.8213 | 68.4 |
| 1921 | 5240.915 | 68.5 | 11 | 16.9 | 49 | 756 | 1700 | 16.8213 | 67.6 |
| 1951 | 5313.895 | 65.7 | 11 | 15.2 | 49 | 756 | 1700 | 16.8213 | 60.8 |
| 1981 | 5384.218 | 71.1 | 12 | 16.1 | 50 | 756 | 1700 | 16.8213 | 65.71429 |



Gambar 4.3.
Grafik Kedalaman vs ROP, Torsi, WOB, RPM dan Ratio Pada Trayek 9.875"

Tabel IV-11.
Kedalaman vs ROP, Torsi, WOB, RPM, GPM, SCFM, Ratio Trayek 9.875”

| Depth (m) | Depth (ft) | ROP (ft/h) | Torsi (klbft) | WOB (klbs) | RPM | GPM | SCFM | Ratio |
|-----------|------------|------------|---------------|------------|-----|-----|------|---------|
| 1981 | 5384.218 | 49.44724 | 18 | 12.3 | 50 | 870 | 600 | 10.8468 |
| 2000 | 5433.09 | 48.59259 | 18 | 3.8 | 50 | 702 | 800 | 6.56418 |
| 2010 | 5457.658 | 44.72727 | 18 | 3.3 | 49 | 702 | 800 | 6.56418 |
| 2020 | 5482.094 | 48.47291 | 18 | 14.0 | 40 | 702 | 800 | 6.56418 |
| 2030 | 5507.94 | 47.65133 | 18 | 4.0 | 50 | 702 | 800 | 6.56418 |
| 2040 | 5532.638 | 51.65354 | 19 | 6.5 | 50 | 702 | 800 | 6.56418 |
| 2050 | 5557.173 | 45.45035 | 19 | 7.5 | 40 | 693 | 1000 | 5.18402 |
| 2110 | 5703.723 | 45.66125 | 19 | 3.5 | 49 | 702 | 1100 | 4.77395 |
| 2120 | 5728.225 | 50.07634 | 19 | 5.5 | 49 | 702 | 1100 | 4.77395 |
| 2130 | 5752.628 | 45.76744 | 19 | 3.0 | 48 | 702 | 1100 | 4.77395 |
| 2190 | 5895.67 | 35.71 | 25 | 3.7 | 48 | 688 | 1100 | 4.67874 |
| 2300 | 6162.858 | 50.46154 | 20 | 7.3 | 40 | 702 | 1400 | 3.75096 |
| 2310 | 6187.13 | 49.44724 | 21 | 1.8 | 50 | 702 | 1400 | 3.75096 |
| 2320 | 6211.566 | 46.41509 | 21 | 6.8 | 51 | 697 | 1400 | 3.72425 |
| 2330 | 6235.706 | 48.83375 | 21 | 6.9 | 51 | 697 | 1400 | 3.72425 |
| 2410 | 6430.35 | 34.52 | 27 | 9.8 | 40 | 697 | 1500 | 3.47596 |
| 2480 | 6593.522 | 49.44724 | 21 | 13.6 | 50 | 697 | 1500 | 3.47596 |
| 2490 | 6616.842 | 45.98131 | 21 | 8.5 | 49 | 693 | 1500 | 3.45601 |
| 2500 | 6640.491 | 59.69697 | 21 | 10.9 | 49 | 693 | 1500 | 3.45601 |
| 2660 | 7035.272 | 46.74584 | 23 | 14.5 | 45 | 693 | 1600 | 3.24001 |
| 2670 | 7059.577 | 49.94924 | 24 | 14.8 | 45 | 693 | 1600 | 3.24001 |
| 2680 | 7083.39 | 45.76744 | 23 | 13.0 | 45 | 693 | 1600 | 3.24001 |
| 2690 | 7107.629 | 49.44724 | 23 | 15.0 | 45 | 693 | 1600 | 3.24001 |
| 2700 | 7131.835 | 46.52482 | 23 | 12.3 | 46 | 693 | 1600 | 3.24001 |
| 2710 | 7155.976 | 50.98446 | 24 | 18.0 | 44 | 693 | 1600 | 3.24001 |
| 2720 | 7180.314 | 45.98131 | 24 | 7.4 | 44 | 693 | 1600 | 3.24001 |
| 2770 | 7301.247 | 49.94924 | 25 | 14.5 | 44 | 693 | 1700 | 3.04942 |
| 2780 | 7325.486 | 46.19718 | 25 | 15.1 | 41 | 693 | 1700 | 3.04942 |
| 2790 | 7349.726 | 49.44724 | 25 | 10.5 | 41 | 693 | 1700 | 3.04942 |
| 2800 | 7373.768 | 47.08134 | 23 | 12.5 | 41 | 693 | 1700 | 3.04942 |
| 2810 | 7397.974 | 54.51524 | 24 | 10.0 | 41 | 693 | 1700 | 3.04942 |
| 2820 | 7422.115 | 47.42169 | 26 | 11.5 | 40 | 693 | 1700 | 3.04942 |
| 2830 | 7445.764 | 46.74584 | 21 | 14.0 | 40 | 693 | 1700 | 3.04942 |
| 2840 | 7469.872 | 48.71287 | 25 | 10.1 | 40 | 693 | 1700 | 3.04942 |
| 2848 | 7489.224 | 50.98446 | 25 | 8.1 | 40 | 693 | 1700 | 3.04942 |

4.4. Analisa ROP, Torsi, RPM, WOB vs Kedalaman

Dapat kita lihat dari **Gambar 4.1** dan **Gambar 4.2** dimana terdapat 5 kali penurunan ROP dan torsi yang naik yang berpotensi menyebabkan terjadinya pipa terjepit.

Pada **Gambar 4.1.** dan **Tabel IV-10** dimana titik terendah ROP yaitu 0 ft/hr, sehingga pada kedalaman itu harus segera diinjeksikan penambahan lumpur agar tidak terjadi *pipestuck*. Nilai ROP maksimum 96 ft/hr, diperoleh ROP rata-rata sebesar 62.45 ft/hr agar laju pemboran tetap stabil.

Dari hubungan ROP dan Torsi didapatkan titik kritis 15 ft/hr, ROP rata-rata 62.45 ft/hr, dan ROP maksimum 96 ft/hr. Torsi rata-rata 12.13 klbft, Torsi minimum 8 klbft, dan Torsi maksimum 20 klbft. Dikarenakan kenaikan torsi maka konsentrasi lumpur harus dinaikan, sehingga rasio perbandingan udara dengan lumpur turun dari 1 : 14 menjadi 1 : 11. Dari Analisa hubungan ROP dan torsi, saat ROP naik maka torsinya turun.

Dari hubungan ROP dan WOB didapatkan WOB rata-rata 16 klbs, WOB maksimum 23.5 klbs, dan minimum 12.5 klbs. Dari Analisa hubungan ROP dan WOB, naik nilai ROP maka WOB juga naik. Berbanding lurus juga dengan hubungan WOB dengan Torsi, dimana WOB naik maka nilai Torsi juga naik.

Dari hubungan ROP dan RPM didapatkan RPM rata-rata 47.8, RPM maksimum 50 dan minimum 38. Dari Analisa ROP dan RPM didapat semakin tinggi RPM maka semakin tinggi ROPnya. Hubungan antara RPM dengan Torsi dimana nilai RPM naik maka nilai Torsi juga naik. Dari hubungan WOB dikali dengan RPM didapatkan bahwa semakin besar RPM dan WOB maka nilai WOB dikali RPM nilainya juga naik, namun nilai ROPnya turun maka diindikasikan bahwa pada kedalaman tersebut terjadi pipa terjepit.

Analisa parameter ROP, torsi, RPM, dan WOB pada **Gambar 4.1.** Analisa parameter ROP, torsi, RPM, dan WOB pada kedalaman 3924 ft TVD trayek 10 ¾” lubang 12-1/4” didapat ROP turun sebesar 62.3 fph, torsi turun sebesar 8 klbft, RPM turun sebesar 49, dan WOB turun sebesar 14.5 klbm, sehingga diindikasikan terjadinya pipa terjepit. Pada **Gambar 4.2.** dan **Tabel IV-11** dimana titik terendah ROP yaitu 34 ft/hr, sehingga pada kedalaman itu harus segera diinjeksikan

penambahan lumpur agar tidak terjadi *pipe stuck*. Nilai ROP maksimum 59 ft/hr, diperoleh ROP rata-rata sebesar 48.5 ft/hr

Analisa parameter ROP, torsi, RPM, dan WOB pada kedalaman **Gambar 4.2**. Pada kedalaman 6430 ft didapat ROP turun sebesar 34 fph, torsi naik sebesar 27 klbft, RPM sebesar 40, dan WOB relative tetap stabil sebesar 9.8 klbm.

Dari Analisa hubungan ROP dan torsi, saat ROP naik maka torsinya turun. Dari Analisa hubungan ROP dan WOB, semakin naik nilai WOB maka ROPnya juga naik. Dari Analisa ROP dan RPM didapat semakin tinggi RPM maka semakin tinggi ROPnya.

Berikut tabulasi perhitungan kedalaman vs liquid actual dapat dilihat pada **Tabel IV-12** dan perhitungan kedalaman vs Udara pada **Tabel IV-13**.

Tabel IV-12.
Kedalaman vs Liquid Aktual

| depth | | LIQUID | | | | |
|-------|---------|--------------|--------|--------|---------|----|
| TVD | | flowrate (Q) | | fraksi | density | PV |
| meter | ft | gpm | cfm | % | ppg | cp |
| 0 | 0.00 | | | 4.35 | | |
| 971 | 3185.70 | 802 | 107.22 | 81.77 | 8.33 | 13 |
| 1039 | 3408.79 | 857 | 114.57 | 82.75 | 8.33 | 14 |
| 1196 | 3923.88 | 747 | 99.87 | 84.67 | 8.33 | 14 |
| 1797 | 5895.67 | 706 | 94.39 | 89.25 | 8.33 | 13 |
| 1960 | 6430.45 | 702 | 93.85 | 90.05 | 8.33 | 12 |

Tabel IV-13.
Kedalaman vs Udara Aktual

| depth | | AIR | | | | | |
|-------|---------|-----------|----------|--------|--------|---------|------|
| TVD | | flow surf | flow @ D | | fraksi | density | |
| meter | ft | scfm | gpm | cfm | % | pcf | ppg |
| 0 | 0.00 | | | | 95.65 | 0.07 | 0.01 |
| 971 | 3185.70 | 500 | 94.29 | 12.606 | 18.23 | 2.80 | 0.37 |
| 1039 | 3408.79 | 600 | 107.32 | 14.347 | 17.25 | 2.95 | 0.39 |
| 1196 | 3923.88 | 1400 | 224.87 | 30.062 | 15.33 | 3.28 | 0.44 |
| 1797 | 5895.67 | 1300 | 156.09 | 20.868 | 10.75 | 4.39 | 0.59 |
| 1960 | 6430.45 | 1400 | 158.68 | 21.213 | 9.95 | 4.65 | 0.62 |

Pada **Tabel IV-14** menunjukkan kedalaman vs Aerated actual sehingga didapat total flow, density dan viscosity. Pada **Tabel IV-15** kedalaman vs Liquid optimasi sehingga didapat laju alir, fraksi dan density.

Tabel IV-14.
Kedalaman vs Aerated Aktual

| depth | | AERATED | | | | |
|-------|---------|-----------|--------|---------|------|-----------|
| TVD | | tot. flow | | density | | viscosity |
| meter | ft | gpm | cfm | pcf | ppg | cp |
| 0 | 0.00 | | | | | |
| 971 | 3185.70 | 1024.84 | 137.01 | 56.05 | 7.49 | 0.872 |
| 1039 | 3408.79 | 1095.90 | 146.51 | 55.70 | 7.45 | 0.863 |
| 1196 | 3923.88 | 956.75 | 127.91 | 48.65 | 6.50 | 0.863 |
| 1797 | 5895.67 | 909.12 | 121.54 | 51.82 | 6.93 | 0.872 |
| 1960 | 6430.45 | 905.15 | 121.01 | 51.68 | 6.91 | 0.882 |

Tabel IV-15.
Kedalaman vs Liquid Optimasi

| depth (TVD) | | LIQUID | | |
|-------------|---------|--------|------------|---------|
| | | Q | fraksi | density |
| (m) | (ft) | gpm | % | ppg |
| 0 | 0 | 0 | 5.63380558 | 0 |
| 971.00 | 3185.70 | 750 | 85.4746294 | 8.33 |
| 1039 | 3408.79 | 840 | 86.2949926 | 8.33 |
| 1196.00 | 3923.88 | 902 | 87.8759412 | 8.33 |
| 1797 | 5895.67 | 900 | 91.5897657 | 8.33 |
| 1960 | 6430.45 | 925 | 92.2348772 | 8.33 |

Pada **Tabel IV-16** menunjukkan kedalaman vs udara optimasi sehingga didapatkan laju alir kedalaman, laju alir permukaan , fraksi dan density. Pada **Tabel IV-17** menunjukkan kedalaman vs aerated dan rasio optimasi.

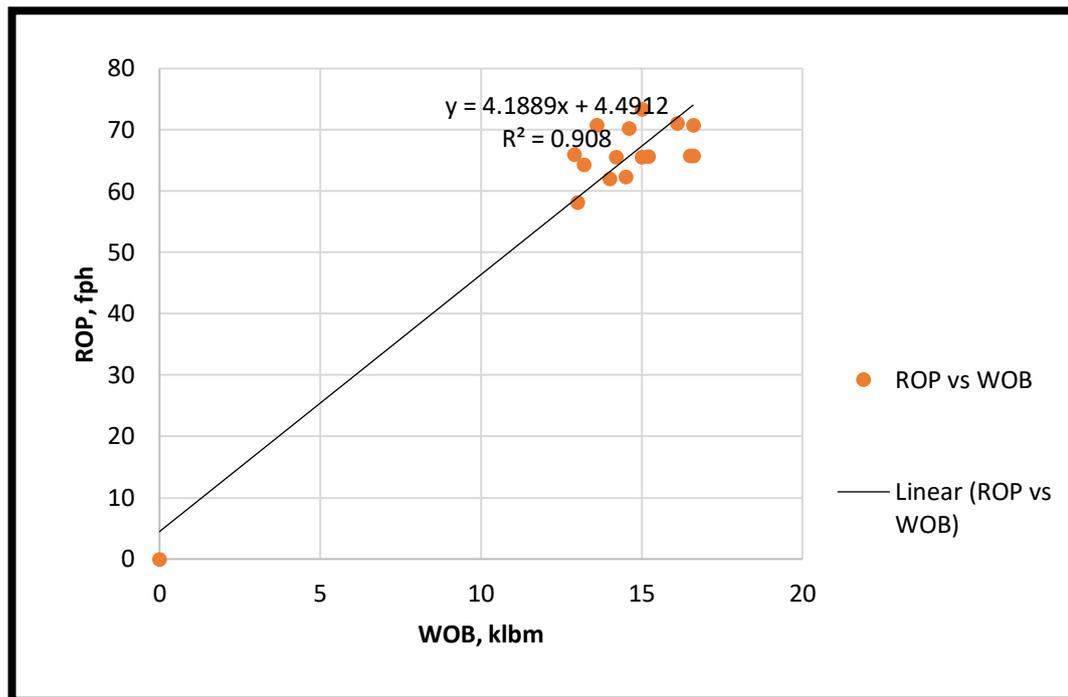
Tabel IV-16.
Kedalaman vs Udara Optimasi

| depth (TVD) | | AIR | | | |
|-------------|---------|----------|----------|------------|----------|
| | | Q @ D | Q surf | fraksi | density |
| (m) | (ft) | gpm | scfm | % | pcf |
| 0 | 0 | | | 94.3661944 | 0.070469 |
| 971.00 | 3185.70 | 395.0195 | 2094.689 | 14.5253706 | 2.795133 |
| 1039 | 3408.79 | 299.1931 | 1672.728 | 13.7050074 | 2.946967 |
| 1196.00 | 3923.88 | 230.8976 | 1437.555 | 12.1240588 | 3.281757 |
| 1797 | 5895.67 | 298.8076 | 2488.586 | 8.41023432 | 4.389979 |
| 1960 | 6430.45 | 280.1856 | 2472.094 | 7.7651228 | 4.650723 |

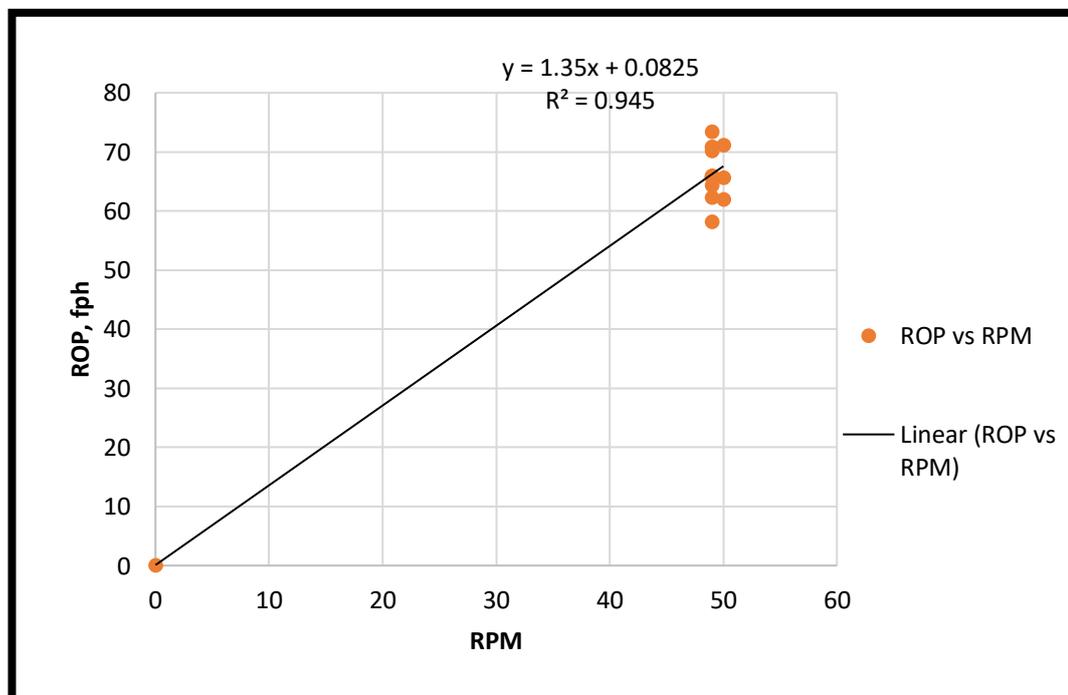
Tabel IV-17.
Kedalaman vs Aerated dan Rasio Optimasi

| depth (TVD) | | AERATED | | | Rasio |
|-------------|---------|-----------|---------|-----------|-------|
| | | tot. flow | density | viscosity | |
| (m) | (ft) | gpm | ppg | cp | |
| 0 | 0 | | | | |
| 971.00 | 3185.70 | 1195.02 | 5.7 | 11.11435 | 19.59 |
| 1039 | 3408.79 | 1199.193 | 6.35 | 12.08379 | 13.90 |
| 1196.00 | 3923.88 | 1190.898 | 6.8 | 12.30484 | 11.20 |
| 1797 | 5895.67 | 1198.808 | 6.4 | 11.9082 | 20.68 |
| 1960 | 6430.45 | 1180.186 | 6.5 | 11.0696 | 20.55 |

Pada **Gambar 4.4.** menunjukkan grafik ROP vs WOB dimana semakin besar nilai ROP maka nilai WOB juga semakin besar. Pada **Gambar 4.5.** menunjukkan grafik ROP vs RPM dimana semakin besar nilai ROP maka nilai RPM juga semakin meningkat.



Gambar 4.4. ROP vs WOB



Gambar 4.5. ROP vs RPM

BAB V

PEMBAHASAN

Sumur XX merupakan sumur *cluster* yang berfungsi sebagai pemasok uap di lapangan panasbumi YY. Pada umumnya reservoir panasbumi mempunyai tekanan lebih rendah dari kolom *hydrostatic pressure* air pada kedalaman manapun di interval reservoir. Pada saat dilakukan pemboran pada interval reservoir maka akan terjadi kondisi hilang sirkulasi baik sebagian (*partial loss*) maupun total (*total losses*).

Lithologi Sumur XX, berdasarkan data-data pemboran yang didapat tersusun atas litologi oleh perselingan antara Breksi Tufa Terubah, Breksi Andesit Terubah, Andesit Basaltis, Andesit Basaltis Terubah, Andesit Terubah. Mineral ubahan Lempung (Cl), Klorit (Ch), Pirit (Py), Oksida besi (IO), dan Kuarsa sekunder (SQ). Mineral ubahan didominasi IO dan SQ.

Sumur XX memiliki kedalaman 3003 m / 2397.6 mTVD sehingga sumur XX memiliki tekanan formasi yaitu sebesar 3401.51 psig. Tekanan normal pada sumur XX karena tekanan pori seimbang dengan tekanan hidrostatik. Fluida keluar melalui pori dan tidak ada yang menghalangi jalan keluarnya fluida tersebut. Pada sumur XX dilakukan pemboran *aerated* agar tidak terjadi masalah *loss circulation*. Jika terjadi *loss circulation* maka *drilling fluid* akan masuk ke dalam formasi dan dapat menyebabkan penurunan porositas dan permeabilitas sehingga produksi akan menurun. Sumur XX tetap terjadi *partial loss* dan *total loss* walaupun sudah menggunakan *aerated drilling* karena hanya bertujuan untuk *performance drilling*, mencegah terjadinya *pipe stuck* dan untuk meningkatkan laju laju pemboran (ROP) serta pembersihan lubang bor yang baik dengan meningkatkan kecepatan annulus. Kecepatan annulus harus lebih dari 150 ft/m. Dalam pemboran aerasi densitas mix yang efektif adalah 4 – 7 ppg.

Aerated drilling dapat digunakan pada beberapa keadaan formasi, yaitu : 1) Formasi yang mempunyai kemungkinan mengalami kerusakan dan setiap reservoir yang mempunyai rekahan alami, 2) Reservoir pada zona yang bertekanan rendah

atau telah turun (*depleted*) yang dapat menyebabkan beberapa problem pemboran bila dilakukan dengan metode konvensional yaitu *lost circulation* dan pipa terjepit, 3) Situasi dimana *Rate Of Penetration* turun. Setelah dilakukannya pemboran dengan metode aerated diperoleh beberapa keuntungan seperti meningkatkan laju pemboran (ROP), mencegah pipa terjepit, mengurangi terjadinya kehilangan sirkulasi, mengurangi terjadinya kerusakan formasi, dan mengoptimalkan *cutting transport*.

Pemboran aerasi tidak menyebabkan terjadinya pembesaran lubang (*washout*) dibandingkan dengan pemboran menggunakan lumpur biasa. Hambatan pada dinding lubang sumur akan diperkecil dengan adanya udara dalam lumpur aerasi. Pada lumpur aerasi terdiri dua fasa lumpur pemboran yaitu lumpur biasa sebagai fasa kontinu dan udara sebagai fasa diskontinu. Penambahan udara kedalam lumpur akan memperbesar volume cairan sehingga densitas lumpur aerasi lebih kecil dari lumpur biasa. Penurunan densitas juga bergantung pada perbandingan udara dengan lumpur, semakin besar volume udara maka lumpur aerasi akan kehilangan kapasitas pengangkatan *cutting* karena viskositas lumpur akan semakin kecil dan kecepatan slip *cutting* terhadap aliran lumpur semakin besar. Oleh karena itu semakin besar volume udara maka densitas lumpur aerasi makin rendah. Udara merupakan fluida kompresibel dimana volumenya dipengaruhi oleh tekanan dan temperatur. Karena densitas lumpur aerasi dipengaruhi oleh volume udara maka densitas lumpur aerasi berbeda disetiap kedalamannya. Oleh karena itu penulis membuat *spread sheet* yang berisikan besarnya densitas, viskositas, laju total lumpur aerasi yang dapat diketahui pada setiap kedalamannya.

Ketika lumpur aerasi sirkulasi, gelembung udara bergerak menuju ke permukaan bersama dengan aliran lumpur sehingga kecepatan gelembung bergerak ke atas merupakan penjumlahan dari kecepatan slip gelembung terhadap aliran lumpur dan kecepatan aliran lumpur. Sedangkan *cutting* bergerak ke bawah dengan kecepatan terminalnya melawan arus pergerakan gelembung udara dan aliran lumpur. Oleh karena itu aliran lumpur aerasi harus lebih besar dari kecepatan slip dan terminal *cutting*. Aliran lumpur aerasi ketika bersirkulasi terbagi menjadi dua bagian yaitu di dalam drillstring dan di dalam annulus. Pola aliran dua fasa terjadi

di dalam drillstring sedangkan di annulus akan terbentuk aliran tiga fasa karena adanya *cutting* yang ikut mengalir bersama lumpur aerasi. Karena konsentrasi *cutting* di dalam lumpur aerasi sangat kecil (<5%) maka pola aliran dua fasa dapat juga berlaku di dalam annulus.

Penulis melakukan kajian actual aerated drilling dengan beberapa parameter *aerated drilling* meliputi perhitungan: *top pressure*, *bottom hole pressure* (BHP), *pressure hydrostatic* dan *pressure formation*, *mix density*, *flow mix*, *annular velocity*, *reynold number* (N_{Re}), *critical velocity*, *slip velocity*, *viscosity*, serta metode pengangkatan *cutting* meliputi *cutting transport* dan *concentration cutting* dan hasil akhir berupa perbandingan atau *ratio* antara injeksi lumpur biasa dengan injeksi udara. Dalam mengevaluasi penerapan metode *aerated drilling*, perlu diperhatikan tiga aspek untuk optimasi antara lain kapasitas kemampuan mengalirkan lumpur aerasi pada *mud motor*, selisih kecepatan annulus dengan kecepatan minimum lumpur untuk mensirkulasi *cutting* serta ratio injeksi udara dengan lumpur dasar.

Parameter dimana diperlukannya pemboran dengan metode aerated drilling yaitu diketahuinya penurunan dari *Rate of Penetration*, dimana seharusnya ROP ini meningkat. Nilai ROP dipengaruhi oleh beberapa parameter yaitu RPM dan WOB yang diperoleh dari data lapangan. Apabila laju penetrasi menurun dapat menyebabkan terjadinya problem pipa terjepit yang diindikasikan oleh naiknya torsi dan turunnya RPM.

Dari hubungan ROP dan Torsi didapatkan titik kritis 15 ft/hr, ROP rata-rata 62.45 ft/hr, dan ROP maksimum 96 ft/hr. Torsi rata-rata 12.13 klbft, Torsi minimum 8 klbft, dan Torsi maksimum 20 klbft. Dikarenakan kenaikan torsi maka konsentrasi lumpur harus dinaikan, sehingga rasio perbandingan udara dengan lumpur turun dari 1 : 14 menjadi 1 : 11. Dari Analisa hubungan ROP dan torsi, saat ROP naik maka torsinya turun.

Dari hubungan ROP dan WOB didapatkan WOB rata-rata 16 klbs, WOB maksimum 23.5 klbs, dan minimum 12.5 klbs. Dari Analisa hubungan ROP dan WOB, naik nilai ROP maka WOB juga naik. Berbanding lurus juga dengan hubungan WOB dengan Torsi, dimana WOB naik maka nilai Torsi juga naik.

Dari hubungan ROP dan RPM didapatkan RPM rata-rata 47.8, RPM maksimum 50 dan minimum 38. Dari Analisa ROP dan RPM didapat semakin tinggi RPM maka semakin tinggi ROPnya. Hubungan antara RPM dengan Torsi dimana nilai RPM naik maka nilai Torsi juga naik. Dari hubungan WOB dikali dengan RPM didapatkan bahwa semakin besar RPM dan WOB maka nilai WOB dikali RPM nilainya juga naik, namun nilai ROPnya turun maka diindikasikan bahwa pada kedalaman tersebut terjadi pipa terjepit.

Analisa pada pemboran trayek 12-1/4" terjadi 3 kali penurunan ROP yang berpotensi menyebabkan terjadinya pipa terjepit. Tetapi hal ini segera ditanggulangi dengan ratio injeksi yang tepat sehingga tidak terjadi pipa terjepit. Pada grafik ROP Vs Depth dimana titik terendah ROP yaitu 0 ft/hr, dimana pada kondisi ini terjadinya *pipestuck*. Nilai ROP maksimum 96 ft/hr, diperoleh ROP rata-rata sebesar 62.45 ft/hr agar laju pemboran tetap stabil.

Analisa parameter ROP, torsi, RPM, dan WOB pada kedalaman 3924 ft TVD trayek 10 3/4" lubang 12-1/4" didapat ROP turun sebesar 62.3 fph, torsi turun sebesar 8 klbft, RPM turun sebesar 49, dan WOB turun sebesar 14.5 klbm, sehingga diindikasikan terjadinya pipa terjepit.

Analisa pada pemboran trayek 9 7/8" terjadi 2 kali penurunan ROP yang berpotensi menyebabkan terjadinya pipa terjepit. Tetapi hal ini segera ditanggulangi dengan ratio injeksi yang tepat sehingga tidak terjadi pipa terjepit. Pada grafik ROP Vs Depth dimana titik terendah ROP yaitu 34 ft/hr, dimana pada kondisi ini ada kemungkinan terjadinya *pipestuck*. Nilai ROP maksimum 59 ft/hr, diperoleh ROP rata-rata sebesar 48.5 ft/hr agar laju pemboran tetap stabil.

Pemboran *aerated* ini menggunakan mud motor Sperry Drill 9-5/8" OD MM Lobe 6/7 - 5 Stages dengan batasan laju alir sebesar 600-1200 gpm untuk lubang 12¹/₄" dan mud motor Sperry Drill 8" OD MM Lobe 4/5 - 4 Stages dengan batasan laju alir sebesar 300-900 gpm untuk lubang 9⁷/₈". Apabila laju alir di bawah batas minimal maka motor yang digunakan tidak dapat memutar rotor maupun stator, sedangkan di atas batas maksimal maka motor akan mengalami kerusakan dan tidak bekerja.

Metode untuk menentukan besarnya injeksi udara adalah dengan metode *Gas Law*. Perhitungan dengan menggunakan *Gas Law* lebih mendekati dengan kondisi lapangan oleh karena itu kami memilih metode ini untuk perhitungan. Selanjutnya dengan *spread sheet* yang penulis buat dilakukan perhitungan-perhitungan untuk berbagai kedalaman.

Pemboran aerasi dimulai pada kedalaman 901 m TVD, sampai dengan kedalaman 3003 mMD atau 2397.6 mTVD pada trayek 10³/₄" lubang 12¹/₄" dan pada trayek 8-5/8" lubang 9-7/8". Sumur XX PERTAMINA GEOTHERMAL ENERGY. Untuk perhitungan data lapangan, penulis menggunakan kedalaman 3924 ft TVD pada trayek 10-3/4" lubang 12-1/4".

Dalam mengevaluasi penerapan metode *aerated drilling*, perlu diperhatikan 3 aspek untuk optimasi antara lain kapasitas kemampuan mengalirkan lumpur aerasi pada *mud motor*, selisih kecepatan annulus dengan kecepatan minimum lumpur untuk membersihkan *cutting* serta rasio injeksi udara dengan lumpur dasar.

Pada trayek 10-3/4" lubang 12-1/4" motor yang digunakan adalah *mud motor* SperryDrill 9-5/8" OD MM Lobe 6/7 - 5 Stages dengan batasan laju alir lumpur 600-1200 gpm.

Hasil perhitungan aktual pada kedalaman 3924 ft TVD dengan injeksi udara sebesar 1400 scfm dan laju alir pemompaan lumpur dasar 747 gpm didapatkan laju alir lumpur aerasi yang melalui motor sebesar 956 gpm. Hal ini menunjukkan laju alir lumpur aerasi sudah optimum pada batasan motor 600-1200 gpm. Sedangkan jika laju alir lumpur aerasi melebihi dari kapasitas *mud motor* maka ini akan menyebabkan kerusakan pada motor (*stall*) dalam pemakaian untuk waktu yang lama.

Rasio perbandingan antara injeksi udara dengan injeksi lumpur dasar dipermukaan aktual untuk analisa kedalaman 3924 ft TVD trayek 10-3/4" lubang 12-1/4" adalah 14 : 1, menunjukkan kondisi perbandingan yang sudah optimum karena berada di atas batasan rasio optimum yaitu sebesar 11 : 1.

Optimasi penerapan metode *Aerated Drilling* pada kedalaman 3924 ft TVD trayek 10-3/4" lubang 12-1/4", menggunakan injeksi udara sebesar 1437 scfm dan laju alir pemompaan lumpur dasar sebesar 902 gpm. Didapatkan laju alir lumpur

aerasi sebesar 1190 gpm, yang masih berada pada batas laju alir yang diizinkan melalui pompa motor. Kemudian, didapatkan kecepatan annulus *drill pipe* sebesar 233 fpm. Untuk kecepatan annulus *drill collar* sebesar 339 fpm, yang lebih besar dari kecepatan minimum pembersihan *cutting* di dasar sumur sebesar 45.73 fpm. Selanjutnya, rasio perbandingan antara injeksi udara dengan lumpur dasarnya turun dari 14 : 1 menjadi 11 : 1, yang sudah berada pada kondisi rasio optimum.

BAB VI

KESIMPULAN

1. Evaluasi *aerated drilling* dilakukan pada pemboran sumur XX karena menembus zona loss pada lubang 12-1/4" dan 9-7/8". Evaluasi dilakukan dengan analisa parameter ROP, Torsi, RPM, WOB, dan rasio injeksi lumpur dan udara.
2. Analisa parameter ROP, Torsi, RPM, dan WOB pada kedalaman 3924 ft TVD trayek 10 3/4" lubang 12-1/4" didapat ROP turun sebesar 62.3 fph, Torsi turun sebesar 8 klbft, RPM turun sebesar 49, dan WOB turun sebesar 14.5 klbm, sehingga diindikasikan terjadinya pipa terjepit.
3. Dari hubungan ROP dan Torsi didapatkan titik kritis 0 ft/hr, ROP rata-rata 62.45 ft/hr, dan ROP maksimum 96 ft/hr. Torsi rata-rata 12.13 klbft, Torsi minimum 0 klbft, dan Torsi maksimum 20 klbft. Dikarenakan kenaikan Torsi maka konsentrasi lumpur harus dinaikan, sehingga rasio perbandingan udara dengan lumpur turun dari 1 : 14 menjadi 1 : 11. Dari Analisa hubungan ROP dan Torsi, saat ROP naik maka Torsinya turun.
4. Dari hubungan ROP dan WOB didapatkan WOB rata-rata 16 klbs, WOB maksimum 23.5 klbs, dan minimum 0 klbs. Dari Analisa hubungan ROP dan WOB, naik nilai ROP maka WOB juga naik. Berbanding lurus juga dengan hubungan WOB dengan Torsi, dimana WOB naik maka nilai Torsi juga naik.
5. Dari hubungan ROP dan RPM didapatkan RPM rata-rata 47.8, RPM maksimum 50 dan minimum 0. Dari Analisa ROP dan RPM didapat semakin tinggi RPM maka semakin tinggi ROPnya. Hubungan antara RPM dengan Torsi dimana nilai RPM naik maka nilai Torsi juga naik. Dari hubungan WOB dikali dengan RPM didapatkan bahwa semakin besar RPM dan WOB maka nilai WOB dikali RPM nilainya juga naik, namun nilai ROPnya turun maka diindikasikan bahwa pada kedalaman tersebut terjadi pipa terjepit.
6. Optimasi *aerated drilling* pada kedalaman 3924 ft TVD memperoleh hasil harga laju alir fluida aerasi yang meningkat sebesar 1190 gpm, tetapi masih

berada pada batasan motor 600-1200 gpm. Selanjutnya karena adanya kenaikan Torsi maka ditambah konsentrasi lumpur sehingga rasio injeksi udara dengan lumpur menurun dari 14 : 1 menjadi 11 : 1. Optimasi ini diharapkan agar pemboran lebih cepat dan tidak terjadinya pipa terjepit.

DAFTAR PUSTAKA

- 1) A. Dwinanto “Aerated Underbalance Drilling Screening Assessment at “X” geothermal field in Indonesia”, Proceedings Thirty-Ninth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford University. 2014.
- 2) Adams, N.J., “*Drilling Engineering – A Complete Well Planning Approach*”, Penn Well Books Company., Tulsa, Oklahoma, 1985. Chapter 18. Page : 678 - 730
- 3) Ashadi, Panuarch Dumrongthai, “Aerated Drilling To Improve GPO-I Drilling Performance”, Proceeding World Geothermal Congress, Melbourne Australia. 2015.
- 4) Bourgoyne, A.T., “*Applied Drilling Engineering*”, First Printing, Society of Petroleum Engineering, Richardson, Texas, 1986. Chapter 2. Page : 42 -52 and chapter 4 page 113 – 280
- 5) Egy Hilmy., “*Evaluasi Penggunaan Aerated Drilling Pada Sumur Lapangan Panasbumi BPA-08 PT Pertamina Upstream Technology Center*”, Seminar Nasional Cedekiawan. 2015.
- 6) I Made Budi, “*Drilling Practice with Aerated Drilling Fluid : Indonesian and Icelandic Geothermal Fields*”, United Nation University, Geothermal Trainning Programme, Okustofnun-Iceland, 2008.
- 7) Hole, H, “*Aerated Fluids for Drilling of Geothermal Wells*”, United Nation University, Geothermal Training Programme, Okustofnun-Iceland, 2006.
- 8) Lyons, W. C., Bayum Guo, “*Air and Gas Drilling Manual*”, Gas Research Institute, Chicago, Illinois, 1996. Chapter 9 page 154 - 175
- 9) Lyons, William C., Plisga, Garry J., “*Standard Handbook of Petroleum and Natural Gas Engineering*”, Gas Research Institute, Chicago, Illinois, 1996. Chapter 9 page: 213 - 244. Chapter 12 page : 283 – 309
- 10) Nugroho, W., Hermawan, S., Lazuardi, B., “Problem Mitigation in Geothermal Drilling, Case Studies of Stuck Pipe and Lost Circulation”, Proceeding

SPE/IATMI Asia Pacific Oil and Gas Conference and Exhibition, Jakarta. 2017.

- 11) Rabia, H., "*Oil Well Drilling Engineering, Principles and Practice*", Universty of Newcastle Upon Tyne, Graham and Trotman Ltd, London, 1985. Chapter 7. Page : 198 – 199 dan 218 – 225. Chapter 8 page 233 – 268
- 12) Riviani K., "*Kinerja Operasi Aerated Drilling Pada Sumur N di Lapangan Panasbumi K*", Seminar Nasional Cendekiawan, Universitas Trisakti, Jakarta. 2015.
- 13), "*Drilling Day Report*" Sumur RDP-X1 Lapangan RDP PT Geotama Energi

LAMPIRAN

Lampiran A
(Drilling Well Report)

PT. PERTAMINA GEOTHERMAL ENERGY

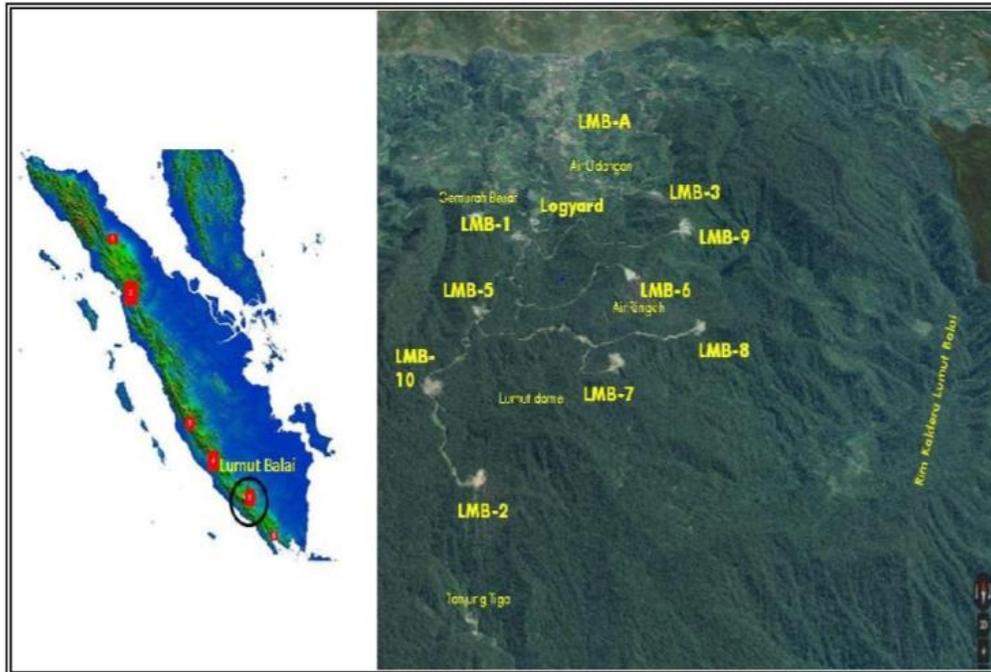
LAPORAN AKHIR SUMUR LMB-19/2

INTRODUCTION

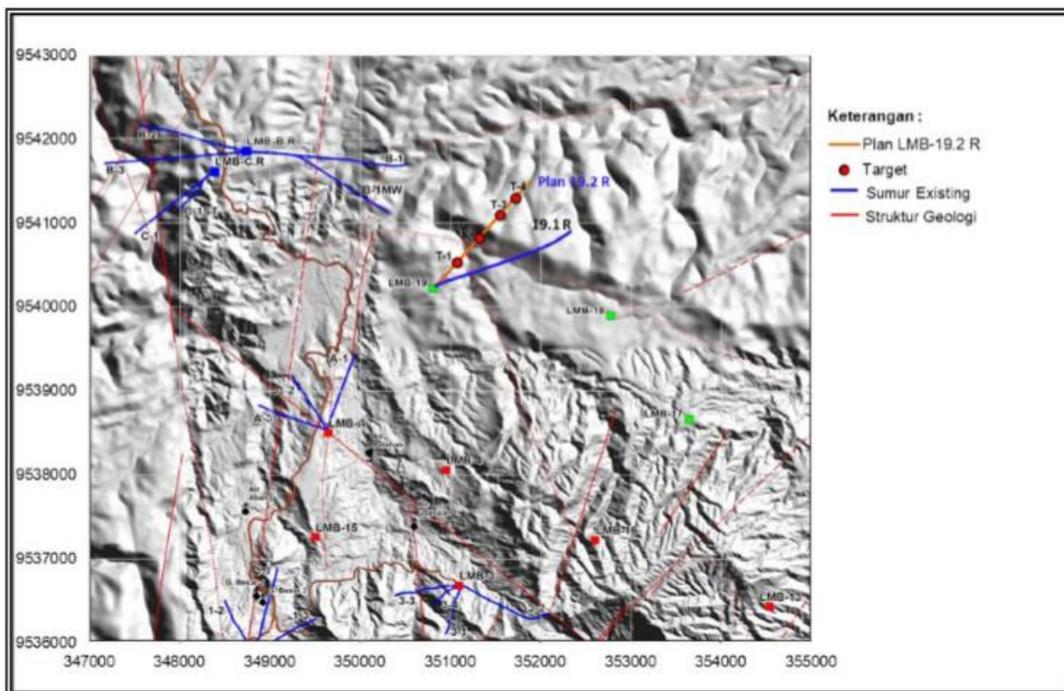
Area panas bumi Lumut Balai terletak di Kabupaten Muara Enim, Provinsi Sumatra Selatan (± 90 km dari Kota Baturaja). Tujuan pemboran sumur LMB-19.2.R adalah sebagai berikut :

- Pemboran untuk sumur reinjeksi brine ke dalam reservoir lapangan Lumut Balai dari sumur-sumur produksi untuk Unit 1 & 2
- Untuk menjaga kelangsungan produksi fluida geothermal dan tekanan reservoir Lumut Balai pada jarak yang ideal ($\pm 3-4$ km) sehingga terhindar dari kembalinya fluida reinjeksi terlalu cepat masuk ke dalam zona produksi
- Untuk mendapatkan permeabilitas dari struktur berarah NW-SE dan Rim Kaldera Lumut Balai.

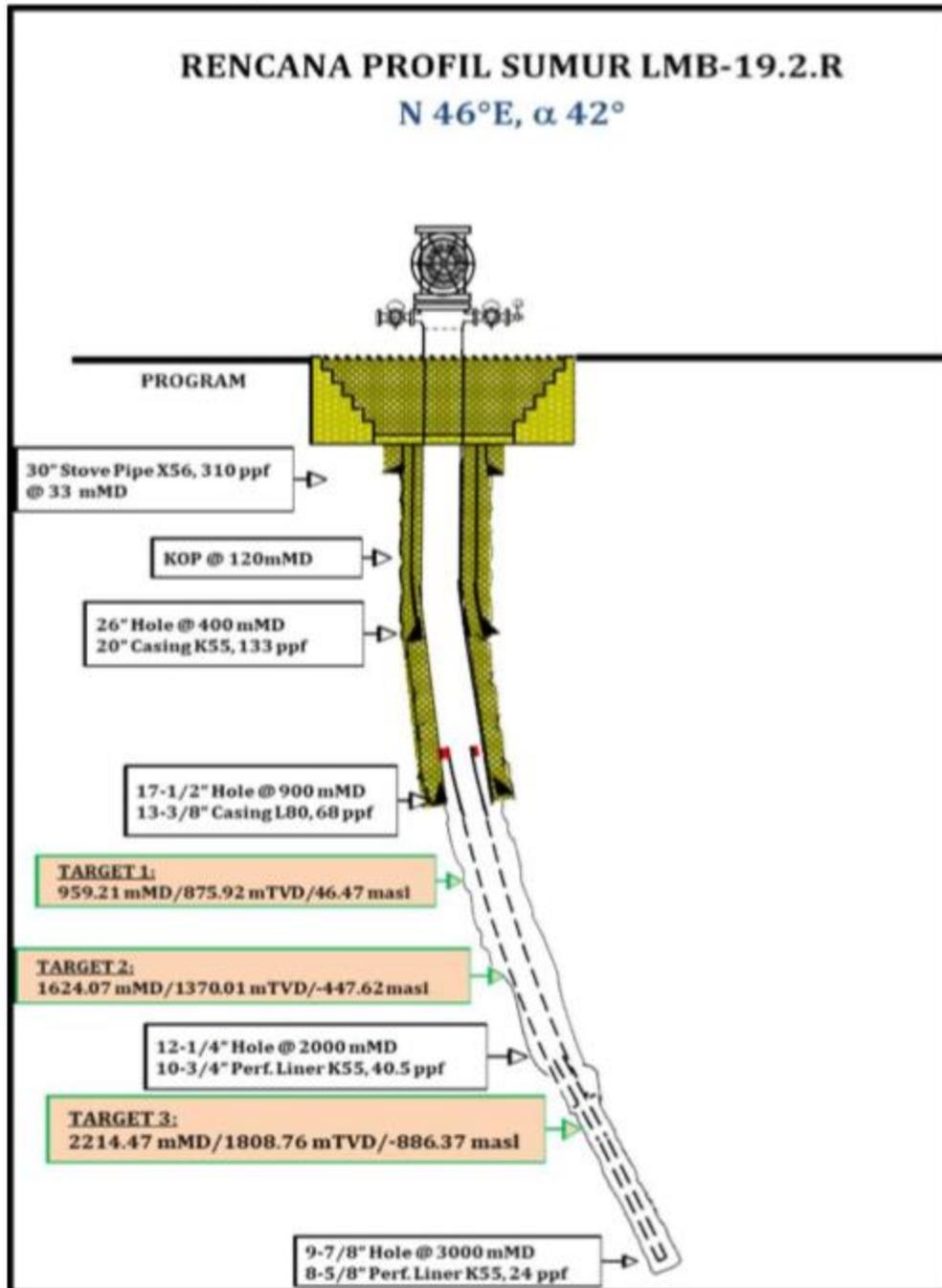
Berdasarkan analisis data eksplorasi permukaan dan data bawah permukaan dari sumur yang ada, model konseptual panasbumi daerah Lumut Balai dapat diuraikan sebagai berikut. Daerah prospek panasbumi Lumut Balai berasosiasi dengan rangkaian aktivitas vulkanisme Kuartar kompleks Lumut-Balai. Sumber panas sistem panasbumi diperkirakan berasal dari aktivitas vulkanik terakhir yaitu erupsi Bt. Lumut Muda pada 0.6 – 0.9 juta tahun yang lalu, yang berada di bagian Barat Daya daerah penelitian. Struktur rim kaldera Bt. Lumut Tua diperkirakan membatasi perkembangan sistem panasbumi, dan terpotong oleh struktur sesar yang berarah umum Utara-Selatan dan Timur Laut – Barat Daya. Sistem panas bumi Lumut Balai berupa dominasi air dengan temperatur reservoir berkisar 260 – 300oC. Target utama pemboran yaitu target reservoir dalam pada kedalaman 959 mKU/876 mKT, 1624 mKU/1370 mKT, 2214 mKU/1808Mkt, dan 2627 mKU/2120 mKT



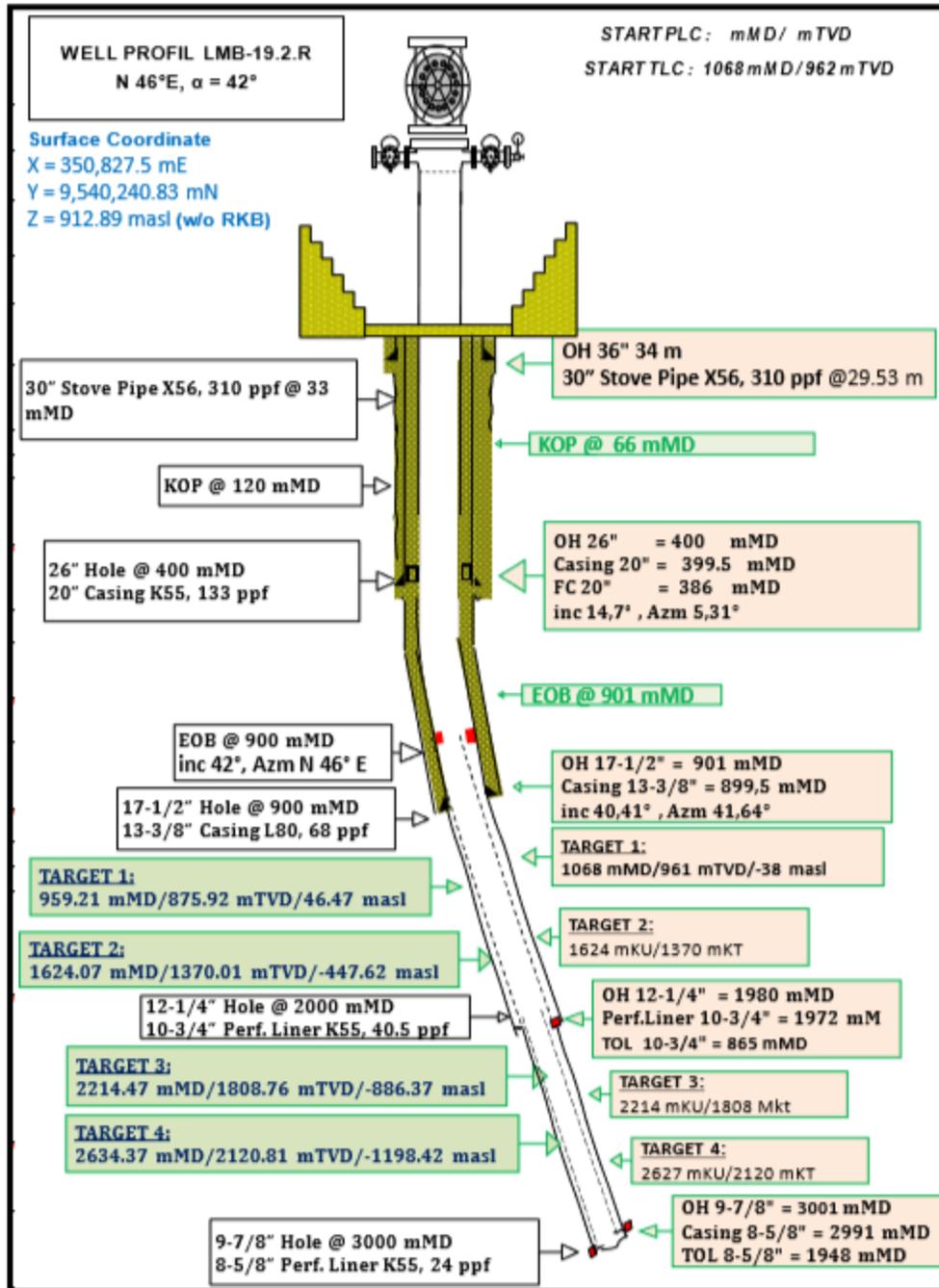
Gambar A.1. Lumut Balai Resource Issue



Gambar A.2. Peta Arah Sumur



Gambar A.3. Rencana Profil Sumur



Gambar A.4. Diagram Sumur

1.3. Well Data

| | | |
|---------------------------|---|--|
| Nama Lokasi | : | LUMUT BALAI |
| Nama Sumur | : | LMB-19.2.R |
| LOCATION | : | LUMUT BALAI |
| Operator | : | PT. PERTAMINA GEOTHERMAL ENERGY, AREA GEOTHERMAL LUMUT BALAI |
| Menara Bor | : | PT PDSI 39.3/ D1500-E |
| Tujuan Pemboran | : | Pemboran Sumur Panasbumi |
| Klasifikasi | : | Sumur Injeksi |
| Jenis Pemboran | : | Pemboran Berarah |
| Koordinat Permukaan | : | X = 350,827.5 mE Y = 9,540,240.83 mN Z = 912.89 masl |
| Koordinat Bawah Permukaan | : | X = 351,947.68 mE Y = 9,541,454.47 mN Z = -1470.13 mdpl |
| Ground Level | : | 922.29 m |
| Tinggi Lantai Bor | : | 9.4 m |
| Waktu tajak | : | 9 Februari 2018 |
| Akhir pengeboran | : | 22 Maret 2018 |
| Kedalaman Akhir | : | 3001 mKU/2394 mKT |
| Titik Belok (KOP) | : | 66 mKU |
| Arah Lubang | : | N 46°E |
| Sudut Kemiringan | : | 42° |
| Horizontal Displacement | : | 1648.85 m |
| Data Lubang LMB-19/R | : | Trayek 36" di 11 mKU – 34 mKU Trayek 26" di 34 mKU – 400 mKU Trayek 17½" di 404 mKU – 901 mKU Trayek 12¼" di 901 mKU – 1980 mKU Trayek 9-7/8" di 1980 mKU – 3001 mKU |
| Susunan Casing LMB-19/R | : | Stove Pipe 30" di 0 mKU – 29.5 mKU Casing 20" di 0 mKU – 399.5 mKU Casing 13-¾" di 0 mKU – 899.5 mKU Perf liner 10-¾" di 866 mKU – 1972 mKU Perf Liner 8-5/8" di 1948 mKU – 2991 mKU |