

**PROSES PENGEBORAN TERHADAP SUMUR TPS-A.1  
TOMPASO di PT PERTAMINA *GEOTHERMAL ENERGY* Tbk  
AREA LAHENDONG**

**LAPORAN KERJA PRAKTIK**

**Disusun Oleh :**  
**Tesalonika Frity Oroh**  
**22012006**



**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS KATOLIK DE LA SALLE  
MANADO  
2025**



**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS KATOLIK DE LA SALLE  
MANADO**

**FORM KP - 005**

**FORMULIR PENILAIAN PELAKSANAAN KERJA PRAKTEK**

Mohon diisi dan dicek seperlunya,

NAMA MAHASISWA : Tesalonika Erity Oroh

NIM : 22012006

NAMA PERUSAHAAN : PT. Pertamina Geothermal Energy Tbk. Area Lahendong

ALAMAT PERUSAHAAN : Jl. Raya Tomohon No.420, Kel.Lansot, Kec. Tomohon Selatan,  
Kota Tomohon, Sulawesi Utara

TGL KERJA PRAKTEK : 14 Juli 2025

TOPIK YANG DIBAHAS : Proses Pengeboran Sumur

Nilai	=	50	60	70	80	90	100
Sikap							
Kerajinan	=	50	60	70	80	90	100
Prestasi	=	50	60	70	80	90	100

**KOMENTAR/SARAN**

NILAI RATA-RATA : 90  
TANGGAL : 1 AGUSTUS 2025  
NAMA PENILAI : DIKA IQBAL LIDYANTO  
JABATAN : ENGINEER QA/QC

(Tanda tangan dan  
cap perusahaan)

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala berkat dan tuntunan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan Kerja Praktik di PT. Pertamina *Geothermal Energy Tbk.* Area Lahendong dengan judul laporan " Proses Pengeboran Terhadap Sumur Tps-A.1 Tompaso di PT. Pertamina *Geothermal Energy Tbk.* Area Lahendong " untuk memenuhi syarat dan nilai mata kuliah Kerja Praktik. Penulis juga berterima kasih kepada keluarga, teman-teman dan dosen yang secara langsung maupun tidak langsung sudah membantu dengan cara memberikan motivasi dan masukkan kepada penulis dalam menyelesaikan Laporan Kerja Praktik ini.

Adapun pihak-pihak tersebut, diantaranya :

1. Bapak Dr. Gregorius Hertanto Dwi Wibowo, S.S., M.Th. Selaku Rektor Universitas Katolik De La Salle Manado.
2. Bapak Ronald Albert Rachmadi, S.T., M.T selaku Dekan Fakultas Teknik dan juga selaku Dosen Pembimbing Akademik.
3. Tryadi Tumewu, S.T., M.Sc. selaku Ketua Program Studi Industri.
4. Inneke Victor, Ph.D. selaku Dosen Pembimbing 1 yang telah banyak memberikan bantuan dan masukkan dalam proses pembuatan laporan.
5. Yulius Raton, ST., M.Kom. selaku Dosen Pembimbing 2 yang telah banyak memberikan bantuan dan masukkan dalam proses pembuatan laporan.
6. Orang tua, kakak, dan keluarga yang selalu memberikan semangat dan doa untuk penulis agar bisa menyelesaikan Laporan Kerja Praktik ini.
7. Teman-teman seperjuangan Fakultas Teknik angkatan 2022 serta Penris Papendang, yang sangat membantu dalam dukungan dan motivasi penyelesaian laporan ini.
8. Untuk Penulis sendiri yang sudah berkomitmen serta konsisten dalam menyelesaikan laporan ini.

Manado, Januari 2026

penulis

## DAFTAR ISI

<b>FORMULIR PENILAIAN .....</b>	<b>i</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>ii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>iii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>vi</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1    Latar Belakang .....	1
1.2    Rumusan Masalah .....	3
1.3    Tujuan Kerja Praktik .....	3
1.4    Manfaat Kerja Praktik .....	3
1.5    Batasan Kerja Praktik.....	3
1.6    Sistematika Penulisan .....	4
<b>BAB II DATA UMUM PERUSAHAAN.....</b>	<b>6</b>
2.1    Sejarah PT. Pertamina <i>Geothermal Energy Area Lahendong</i> .....	6
2.1.1    Profil PT. PGE Area Lahendong.....	8
2.1.2    Visi dan Misi PT. PGE Area Lahendong.....	8
2.2    Lingkup Pekerjaan PT. PGE Area Lahendong .....	9
2.2.1    Struktur Organisasi PT. PGE Area Lahendong.....	9
2.2.2    Kegiatan Operasional Perusahaan.....	12
2.3    Lingkup Pekerjaan yang Dilakukan .....	14
<b>BAB III METODOLOGI PEMECAHAN MASALAH .....</b>	<b>26</b>
3.1    Landasan Teori.....	26
3.1.1    Energi Panas Bumi .....	26
3.1.2    Proses Pengeboran Panas Bumi .....	27
3.1.3    Karakteristik Pengeboran Panas Bumi.....	28
3.1.4    Sistem Utama Peralatan Pengeboran ( <i>Rig System</i> ) .....	33
3.1.5    Tahapan Operasi Pengeboran Sumur Panas Bumi.....	37
3.2    Langkah Pemecahan Masalah .....	38
<b>BAB IV PEMBAHASAN.....</b>	<b>41</b>
4.1    Pengumpulan dan Pengolahan Data.....	41

4.1.1	Proses Operasi Pengeboran Sumur TPS-A.1 Tompaso .....	41
4.2	Analisis dan Pemecahan Masalah .....	49
4.2.1	Permasalahan Yang Terjadi Selama Pengeboran.....	49
4.2.2	Pemanfaatan Metode CPM/PERT dalam Pengendalian Waktu Proyek	
	52	
<b>BAB V</b>	<b>PENUTUP.....</b>	<b>59</b>
5.1	Kesimpulan .....	59
5.2	Saran.....	59
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>		<b>61</b>

## **DAFTAR TABEL**

Table 2.1 Profil Perusahaan .....	8
Table 2.2 Kegiatan Operasional Di Kantor.....	13
Table 2.3 Kegiatan Operasional Lapangan .....	13
Table 2.4 Uraian Kegiatan Kerja Praktik .....	15
Table 4.1 Tabel Perbandingan dengan Beberapa Jurnal .....	54

## **DAFTAR GAMBAR**

Gambar 2.1 Struktur Organisasi.....	9
Gambar 3.1 Rig Pengeboran .....	33
Gambar 3.2 Diagram Alir Laporan Kerja Praktik.....	39
Gambar 4.1 Diagram Alir Proses Pengeboran .....	41
Gambar 4.2 Data Persiapan Lokasi.....	43
Gambar 4.3 Data Pengeboran <i>Surface Hole</i> .....	44
Gambar 4.4 Data Pemasangan <i>Surface Casing</i> .....	45
Gambar 4.5 Data penyemenan <i>Surface casing</i> .....	46
Gambar 4.6 Data Pengeboran Lubang Produksi .....	47
Gambar 4.7 Data Pemasangan & Penyemenan <i>Production Casing</i> .....	48
Gambar 4.8 Pengeboran Lubang <i>Reservoir</i> .....	48
Gambar 4.9 <i>Fishing Operation</i> .....	50
Gambar 4.10 Operasi Drilling Non-produktif.....	51
Gambar 4.11 <i>Run Casing/Liner Problem</i> .....	52

## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

Pengeboran sumur panas bumi merupakan salah satu tahapan paling krusial dalam pengembangan energi panas bumi di Indonesia. Tahapan ini tidak hanya berfungsi sebagai pintu untuk mengakses sumber daya panas bumi yang tersimpan di bawah permukaan, tetapi juga menjadi faktor penentu keberhasilan proyek panas bumi secara keseluruhan. Kegiatan pengeboran membutuhkan biaya investasi yang besar, bahkan dapat mencapai hampir setengah dari total biaya proyek. Oleh karena itu, keberhasilan tahapan pengeboran memiliki dampak langsung terhadap kelayakan finansial, keberlanjutan produksi, serta pencapaian target energi nasional. Setiap permasalahan teknis yang muncul selama proses pengeboran, seperti kerusakan peralatan, ketidaksesuaian formasi batuan, atau hambatan lainnya, dapat berimplikasi signifikan terhadap aspek teknis dan ekonomi proyek panas bumi [1].

Dalam praktiknya, kegiatan pengeboran panas bumi menuntut perencanaan dan pengendalian yang matang. Proses ini melibatkan serangkaian tahapan mulai dari persiapan lokasi, pemasangan casing, penyemenan, hingga proses pemboran yang harus dilakukan dengan memperhatikan karakteristik geologi dan *reservoir* di lokasi tersebut. Tantangan utama yang sering dihadapi dalam pengeboran panas bumi meliputi kondisi tekanan dan suhu yang ekstrem, risiko kehilangan sirkulasi lumpur, serta potensi gangguan mekanis pada peralatan pengeboran. Untuk mengatasi hal tersebut, perusahaan harus menerapkan teknologi pengeboran yang sesuai, memanfaatkan sistem pemantauan kondisi bawah permukaan. Pendekatan yang terencana dengan baik akan membantu menjaga efisiensi waktu, mengoptimalkan penggunaan sumber daya, serta meminimalkan potensi risiko selama proses pengeboran berlangsung[2]

Sumur TPS-A.1 Tompaso merupakan salah satu sumur yang dikembangkan oleh PT Pertamina Geothermal Energy Tbk Area Lahendong dalam rangka mendukung pemanfaatan energi panas bumi di wilayah Sulawesi Utara. Lokasi ini

memiliki kondisi geologi yang kompleks, dengan formasi batuan vulkanik dan sistem *reservoir* yang memerlukan perhatian khusus dalam proses pemboran. Penerapan metode pengeboran yang tepat, pemilihan fluida pengeboran yang sesuai, serta strategi penyemenan yang efektif menjadi faktor kunci untuk memastikan kelancaran dan keberhasilan operasi di lapangan. Melalui kegiatan kerja praktik di lapangan ini, penulis berkesempatan untuk memahami bagaimana setiap tahapan pengeboran dilakukan secara sistematis dan sesuai dengan standar yang berlaku di industri energi panas bumi.

Selain aspek teknis, kegiatan pengeboran panas bumi juga memiliki dimensi strategis dalam mendukung transisi energi bersih di Indonesia. Pemanfaatan energi panas bumi yang berkelanjutan dapat membantu mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil dan menekan emisi gas rumah kaca. Oleh karena itu, peningkatan efisiensi dan keberhasilan proses pengeboran sangat berperan dalam mendukung agenda nasional menuju bauran energi yang lebih ramah lingkungan. Melalui pemahaman terhadap proses pengeboran sumur TPS-A.1 Tompaso, diharapkan penulis dapat memperoleh wawasan mendalam mengenai penerapan teknologi, dan prosedur kerja dalam kegiatan eksplorasi dan produksi panas bumi.

Dengan demikian, pembahasan mengenai proses pengeboran pada sumur TPS-A.1 Tompaso di PT Pertamina Geothermal Energy Tbk Area Lahendong tidak hanya penting dari sisi teknis, tetapi juga memiliki kontribusi besar terhadap keberlanjutan proyek energi panas bumi di Indonesia. Kegiatan ini menjadi bentuk nyata dari integrasi antara ilmu pengetahuan, teknologi, dan praktik industri yang mendukung efisiensi energi serta pengelolaan sumber daya alam yang bertanggung jawab. Melalui kegiatan kerja praktik ini, penulis berupaya memberikan gambaran menyeluruh mengenai pelaksanaan proses pengeboran panas bumi, serta memahami faktor-faktor yang mendukung keberhasilan dan tantangan yang dihadapi di lapangan dengan begitu penulis dapat merekomendasikan metode yang didapatkan pada perkuliahan untuk perbaikan.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Bagaimana proses pengeboran Sumur TPS-A.1 Tompaso yang dilaksanakan di PT Pertamina Geothermal Energy Tbk Area Lahendong?

## **1.3 Tujuan Kerja Praktik**

Tujuan dari dilaksanakannya kegiatan Praktik Kerja Lapangan adalah sebagai berikut :

- 1) Untuk mengidentifikasi proses pengeboran sumur TPS-A.1.
- 2) Untuk mengidentifikasi kendala yang dihadapi selama proses pengeboran sumur TPS-A.1.
- 3) Untuk merekomendasikan metode yang tepat bagi perusahaan dalam menangani kendala yang terjadi selama proses pengeboran sumur sesuai pengetahuan akademik yang diperoleh penulis selama perkuliahan.

## **1.4 Manfaat Kerja Praktik**

Manfaat dari diadakannya pelaksanaan kegiatan Kerja Praktik Lapangan adalah sebagai berikut :

### **1. Bagi Mahasiswa**

- a. Mempersiapkan penulis untuk memiliki sikap bertanggung jawab, beretika, dan memiliki rasa kepercayaan diri yang baik.
- b. Melatih mahasiswa dalam berkomunikasi dan membangun kerja sama dengan para pimpinan dan dengan para karyawan.
- c. Mahasiswa dapat mendapatkan pengalaman yang nyata serta pengetahuan yang baru dalam dunia pekerjaan.

### **2. Bagi Perusahaan**

- a. Perusahaan mendapatkan bantuan SDM yang baru.
- b. Membangun hubungan kerja sama antara perusahaan dengan pihak fakultas.

## **1.5 Batasan Kerja Praktik**

Batasan dari diadakannya pelaksanaan Praktik Kerja Lapangan adalah sebagai berikut :

- 1) Pengamatan hanya difokuskan pada aspek teknis proses pengeboran energi panas bumi terhadap sumur TPS-A.1.
- 2) Tidak mencakup data rahasia perusahaan atau informasi internal yang tidak dapat diakses oleh peserta kerja praktik.
- 3) Data yang digunakan berasal dari hasil wawancara, serta review data historis proses pengeboran masalalu.

## **1.6 Sistematika Penulisan**

### **BAB I: PENDAHULUAN**

Pada bab satu ini berisikan penjelasan mengenai Latar Belakang penulisan laporan, perumusan masalah, penentuan tujuan dari pelaksanaan kerja praktik, manfaat dari pelaksanaan kerja praktik bagi mahasiswa dan bagi perusahaan, batasan masalah, dan sistematika penulisan laporan kerja praktik.

### **BAB II: DATA UMUM PERUSAHAAN**

Pada bab dua ini berisikan deskripsi umum dari perusahaan tempat pelaksanaan kerja praktik, seperti sejarah singkat perusahaan, profil, visi dan misi, lokasi, lingkup pekerjaan perusahaan, struktur organisasi, kegiatan operasional serta lingkup pekerjaan yang dilakukan penulis selama pelaksanaan kerja praktik.

### **BAB III: METODOLOGI PEMECAHAN MASALAH**

Pada bab tiga ini memaparkan dasar-dasar teori yang menjadi acuan dalam pembahasan topik laporan, serta menjelaskan metode pelaksanaan dan penulisan laporan kerja praktik. Selain itu, bab ini juga menyajikan diagram alir yang menggambarkan langkah-langkah pelaksanaan secara sistematis.

### **BAB IV: PEMBAHASAN**

Pada bab empat ini berisikan penjelasan mendalam mengenai Proses Pengeboran yang dilakukan terhadap sumur TPS-A.1 Tompaso di PT Pertamina Geothermal Energy Tbk Area Lahendong. Bab ini mencakup pembahasan mengenai tahapan pengeboran, parameter pengeboran yang digunakan, serta perbandingan antara target waktu dan realisasi waktu operasi. Selanjutnya, bab ini akan menyajikan analisis efisiensi waktu secara umum, diikuti dengan pembahasan singkat mengenai masalah yang terjadi selama proses tersebut.

### **BAB V: KESIMPULAN DAN SARAN**

Pada bab lima ini berisikan perolehan akhir dari seluruh pembahasan, diawali dengan penulisan kesimpulan yang merangkum hasil analisis proses pengeboran sumur TPS-A.1 Tompaso, kendala yang dihadapi, serta rekomendasi yang telah dijelaskan pada Bab IV. Bagian ini kemudian dilanjutkan dengan saran sebagai rekomendasi perbaikan yang praktis bagi perusahaan untuk meningkatkan kinerja dan efisiensi operasional pengeboran selanjutnya.

## BAB II

### DATA UMUM PERUSAHAAN

#### 2.1 Sejarah PT. Pertamina Geothermal Energy Area Lahendong

Sebagai anak perusahaan PT. Pertamina yang didirikan pada tahun 2006, perusahaan ini bergerak dibidang pemanfaatan energy panas bumi berdasarkan Akta Nomor 10 tanggal 12 Desember 2006 dan mendapat pengesahan dari Menteri Hukum dan Hak Asasi Manusia Republik Indonesia tertanggal 3 Januari 2007. Sejak didirikan hingga saat ini, perusahaan belum pernah melakukan perubahan nama. Pemanfaatan energi panas bumi di Indonesia telah dimulai sejak tahun 1974, dengan adanya aktivitas eksplorasi dan eksploitasi oleh Pertamina yang mengidentifikasi 70 wilayah panas bumi di nusantara, yang dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan energy listrik. Sumber daya alam memegang peran penting dalam proses pembangunan suatu negara. Keberadaan sumber daya alam dengan berbagai bentuknya memberikan kontribusi yang menunjang dalam pencapaian pertumbuhan ekonomi Pembangunan yang berkelanjutan merupakan salah satu cara yang tepat dalam pengembangan yang berhubungan dengan pengelolaan sumber daya alam. Pengembangan sumber daya panas (geothermal) untuk pembangkit listrik diproyeksikan akan menjadi sumber energy andalan seiring dengan semakin menipisnya cadangan migas di dunia. Penggunaan energi panas bumi diyakini lebih ramah lingkungan karena emisi yang dihasilkan lebih rendah dibandingkan dengan pembangkit lain yang menggunakan batu bara, minyak maupun gas alam.

PT. Pertamina Geothermal Energy Area Lahendong terletak di kota Tomohon Provinsi Sulawesi Utara yang merupakan lapangan panas bumi pertama yang berada di Indonesia bagian timur, lapangan ini terletak di daerah vulkanik dengan kaldera yang sangat besar, yaitu Tondano kaldera dan Pangolombian kaldera. Daerah ini juga berada di deretan gunung berapi, yaitu **Gunung Lokon, Gunung Tampusu**(Sumber : Sejarah Perusahaan PT. Pertamina *Geothermal Energy* Tbk. Area Lahendon) dan sebuah danau yang dikenal dengan Danau Linow. Lapangan ini berada pada ketinggian 750 M sampai 1000 M diatas permukaan laut.

Energi panas bumi merupakan sumber energy baru yang memiliki potensi besar dikembangkan di Indonesia dan sumber ini tergolong ramah lingkungan dan tidak mencemari lingkungan. Lahendong merupakan daerah potensi panas bumi yang pemanfaatannya dilaksanakan secara langsung dan tidak langsung melalui konveksi energy kinetic fluida panas bumi menjadi energy listrik. Lewat pemantauan listrik kualitas udara yang dilakukan setiap hari dengan menggunakan alat sound level meter terbukti dapat memantau kualitas udara yang berada di sekitar area lahendong.

### Jejak Langkah

- a) Pada tanggal 21 Agustus 2001 PLTP Lahendong Unit I berkapasitas 20 MW beroperasi, memanfaatkan energy panas bumi dari Lapangan Lahendong, Provinsi Sulawesi utara.
- b) 2006 PT. Pertamina Geothermal Energy didirikan sebagai anak perusahaan PT. Pertamina yang mengelola kegiatan usaha di bidang panas bumi. Pendirian Perusahaan berdasarkan Akta No. 10 tanggal 12 Desember 2006, dan telah mendapat pengesahan dari Menteri Hukum dan Hak Asasi Manusia Republik Indonesia dengan Surat Keputusan Nomor W7-00089HT.01.01- TH.2007 tertanggal 3 Januari 2007.
- c) 2007 PLTP Area Lahendong unit II resmi beroperasi, berkapasitas 20 MegaWatt (MW) yang terletak di WKP Lahendong, Provinsi Sulawesi Utara.
- d) 2009 PLTP Area Lahendong unit III resmi beroperasi, berkapasitas 20 MegaWatt (MW) yang terletak di WKP Lahendong, Provinsi Sulawesi Utara.
- e) 2011 PLTP Area Lahendong unit IV resmi beroperasi, berkapasitas 20 MegaWatt (MW) yang terletak di WKP Lahendong.
- f) 2016 PLTP Lahendong Unit V & VI (2 x 20 MW) Sulawesi Utara
- g) Mulai beroperasi komersial. Diresmikan oleh Presiden RI pada 27 Desember 2016.

### **2.1.1 Profil PT. PGE Area Lahendong**

Berikut ini adalah profil perusahaan dari PT. Pertamina Geothermal Energy Tbk area Lahendong:

**Table 2.1 Profil Perusahaan**

Nama Perusahaan	PT. Pertamina Geothermal Energy Tbk. Area Lahendong
Logo	 Logo PT. Pertamina Geothermal Energy Tbk. Area Lahendong. Logo ini terdiri dari tiga garis diagonal berwarna biru, hijau, dan merah yang membentuk simbol panas bumi. Di samping garis-garis tersebut, kata "PERTAMINA" ditulis dalam font besar dan tebal berwarna hijau, dengan kata "GEOTHERMAL ENERGY" ditulis di bawahnya dalam font kecil berwarna merah.
Alamat Perusahaan	Jl. Raya Tomohon No.420, Kelurahan Lansot, Kecamatan Tomohon Selatan, Kota Tomohon, Sulawesi Utara 95362
Email Perusahaan	<a href="mailto:commpte@pertamina.com">commpte@pertamina.com</a>
Website Perusahaan	<a href="https://www.pge.pertamina.com">https://www.pge.pertamina.com</a>
Tahun Berdiri	2006
Kecamatan	Tomohon Selatan
Kota/Kabupaten	Tomohon
Provinsi	Sulawesi Utara
Bidang Produksi	Sumber Daya Energi Panas Bumi (Geothermal)

### **2.1.2 Visi dan Misi PT. PGE Area Lahendong**

Visi Perusahaan:

*“World Class Energy Company with Largest Geothermal Capacity Globally”*

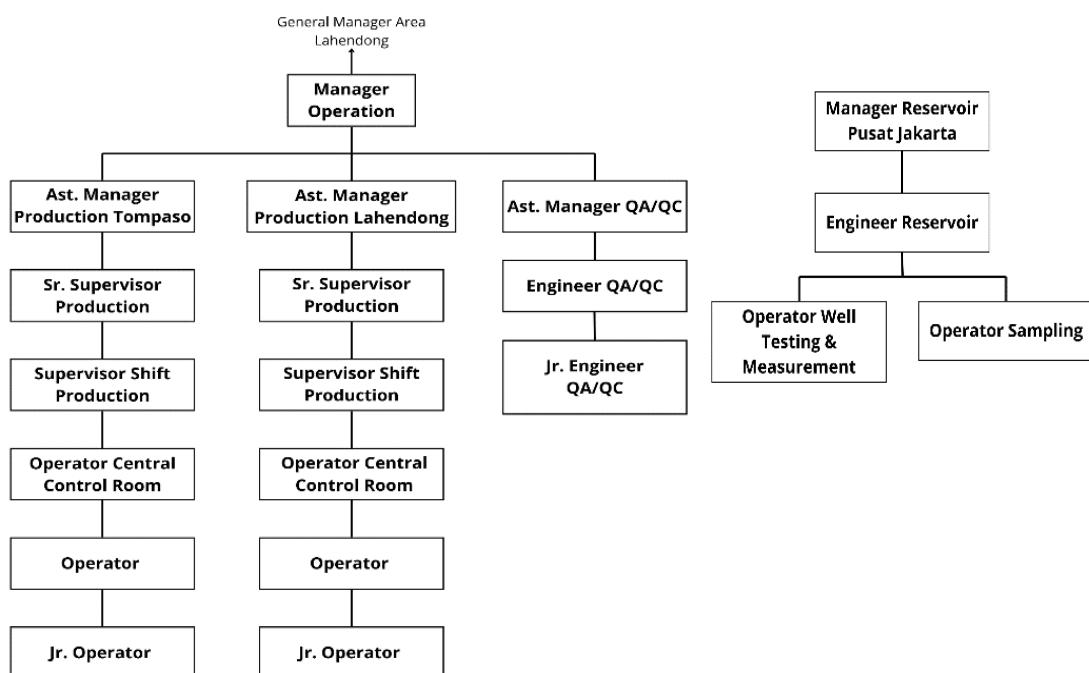
Misi Perusahaan:

1. Menciptakan nilai dengan memaksimalkan pengelolaan end-to-end potensi panas bumi beserta produk turunannya.
2. Mendukung dan berpartisipasi dalam agenda dekarbonasi nasional dan global.

## 2.2 Lingkup Pekerjaan PT. PGE Area Lahendong

### 2.2.1 Struktur Organisasi PT. PGE Area Lahendong

Untuk mendukung kelancaran operasional sekaligus meningkatkan efektivitas dan efisiensi dalam pemanfaatan sumber daya perusahaan, dibentuklah sejumlah fungsi kerja yang memiliki peran masing-masing. Salah satu fungsi penting adalah bagian *Operation*, yang di dalamnya terdapat struktur organisasi sebagai penggerak utama aktivitas perusahaan. Adapun susunan organisasi fungsi *operation* di PT Pertamina *Geothermal Energy* Tbk Area Lahendong dapat digambarkan sebagai berikut:



**Gambar 2.1 Struktur Organisasi**

Sumber : Data PT. Pertamina *Geothermal Energy* Tbk. Area Lahendong

Berikut ini merupakan uraian singkat terkait tanggung jawab dari setiap posisi karyawan yang ada pada fungsi *operation* pada PT. *Geothermal Energy* Tbk Area Lahendong:

1. *General Manager*

Merupakan pimpinan tertinggi yang mengatur, mengendalikan, dan bertanggung jawab atas seluruh kegiatan operasional di Area Lahendong. Fokus utama posisi ini adalah menetapkan strategi, mengambil keputusan

penting, serta memastikan target produksi, biaya, dan keselamatan kerja tercapai.

2. *Manager Operation*

Berperan mengkoordinasikan seluruh kegiatan operasional harian. Posisi ini bertugas mengawasi pelaksanaan produksi, pengeboran, pemeliharaan, serta memastikan operasional berjalan sesuai rencana kerja dan standar perusahaan.

3. *Assistant Manager Production Tompaso*

Memiliki tanggung jawab dalam mengatur serta mengawasi produksi di wilayah Tompaso. Posisi ini mengendalikan jadwal kerja, memantau hasil produksi, dan menyelesaikan hambatan teknis yang muncul di area tersebut.

4. *Assistant Manager Production Lahendong*

Sama seperti bagian Tompaso, posisi ini bertanggung jawab atas kelancaran kegiatan produksi di wilayah Lahendong. Tugasnya memastikan target produksi tercapai, mengevaluasi capaian operasional, serta mencari solusi atas kendala teknis.

5. *Senior Supervisor Production Tompaso*

Membantu asisten manajer dalam mengawasi supervisor shift di Tompaso. Posisi ini juga bertugas memberikan arahan, mengawasi aktivitas produksi, serta menyampaikan laporan hasil kegiatan kepada pimpinan.

6. *Senior Supervisor Production Lahendong*

Menjalankan peran serupa dengan senior supervisor di Tompaso, namun fokus pada wilayah Lahendong. Tugasnya adalah mengawasi kegiatan operasional, memberikan bimbingan kepada supervisor shift, dan menjamin kelancaran produksi.

7. *Supervisor Shift Production Tompaso*

Mengendalikan jalannya produksi dalam setiap shift. Posisi ini bertanggung jawab menjaga kelancaran operasi, memastikan keamanan kerja, dan menangani gangguan teknis yang terjadi saat jam kerja berlangsung.

8. *Supervisor Shift Production Lahendong*

Tugasnya adalah memastikan kegiatan produksi tetap berjalan aman dan efisien di Lahendong pada setiap pergantian shift, serta menindaklanjuti kendala yang muncul selama operasi.

9. *Operator Central Control Room (CCR) Tompaso*

Bertugas memantau kegiatan produksi melalui sistem kendali terpusat. Operator ini mencatat data operasional, memantau kondisi fasilitas, dan memberikan respon cepat bila ada gangguan.

10. *Operator Central Control Room (CCR) Lahendong*

Sama seperti bagian CCR Tompaso, posisi ini fokus memantau produksi dari ruang kendali pusat di Lahendong. Operator memastikan sistem kontrol berfungsi normal dan melaporkan bila ada penyimpangan.

11. *Operator Produksi Tompaso*

Posisi ini bekerja langsung di lapangan untuk menjalankan peralatan produksi. Mereka memastikan stabilitas aliran panas bumi, melakukan pengecekan rutin, serta melaporkan kerusakan peralatan.

12. *Operator Produksi Lahendong*

Sama dengan operator di Tompaso, posisi ini berfokus pada kegiatan produksi di Lahendong. Mereka memastikan peralatan berjalan dengan baik dan mendukung kelancaran operasi harian.

13. *Junior Operator*

Berperan membantu operator senior dalam menjalankan aktivitas produksi. Mereka mendukung pekerjaan lapangan sekaligus menjadi tenaga pelaksana untuk kegiatan operasional dasar.

14. *Assistant Manager QA/QC*

Bertanggung jawab dalam mengatur sistem mutu dan memastikan semua prosedur operasional sesuai standar. Posisi ini juga mengawasi hasil produksi agar kualitasnya tetap terjaga.

15. *Engineer QA/QC*

Melakukan pengawasan teknis terhadap kualitas proses dan produk. Posisi ini memberikan rekomendasi jika ada penyimpangan serta memastikan kepatuhan pada standar mutu perusahaan.

16. *Junior Engineer QA/QC*

Membantu engineer senior dalam kegiatan pengawasan mutu. Posisi ini juga mendukung pelaksanaan standar kualitas di lapangan agar sesuai prosedur.

#### 17. Manajer *Reservoir* Pusat

Manajer *Reservoir* Pusat Jakarta bertugas mengawasi *reservoir* di PGE Lahendong dalam mengelola cadangan dan produksi panas bumi, serta mengoptimalkan sumur produksi dan reinjeksi. Ia memastikan evaluasi kinerja sumur berjalan baik dan berkoordinasi dengan tim lain untuk maksimalisasi produksi energi. Tugas utamanya juga mencakup pelaporan dan perencanaan anggaran terkait *reservoir*.

#### 18. *Engineer Reservoir*

Bertugas menganalisis kondisi *reservoir* panas bumi. Posisi ini mengevaluasi kapasitas sumur, memantau keberlanjutan sumber daya, dan memberikan rekomendasi teknis untuk menjaga keberlanjutan produksi.

#### 19. *Operator Well Testing & Measurement*

Melakukan pengujian sumur panas bumi untuk mengetahui kapasitas produksi dan kondisi teknis. Data hasil pengukuran digunakan sebagai acuan dalam evaluasi operasional.

#### 20. *Operator Sampling*

Bertugas mengambil sampel fluida panas bumi dari sumur untuk dianalisis di laboratorium. Hasil analisis digunakan untuk memantau kondisi *reservoir* serta menjaga kualitas produksi.

### **2.2.2 Kegiatan Operasional Perusahaan**

Kegiatan operasional di PT Pertamina Geothermal Energy Tbk Area Lahendong pada umumnya dilaksanakan selama 8 jam 30 menit setiap hari kerja, mulai Senin hingga Jumat.

Rincian jadwal operasional tersebut dapat dilihat pada tabel berikut:

**Table 2.2 Kegiatan Operasional Di Kantor**

No	Hari	Waktu
1.	Senin	07.30 - 16.00
2.	Selasa	07.30 - 16.00
3.	Rabu	07.30 - 16.00
4.	Kamis	07.30 - 16.00
5.	Jumat	07.00 - 15.30

Unit produksi, termasuk tenaga kerja laboratorium yang mendukung aktivitas di area operasional PLTP - PGE area Lahendong, melaksanakan kegiatan pengoperasian selama 24 jam penuh. Untuk menjaga kelancaran operasi, perusahaan menerapkan sistem kerja dengan pembagian shift sepanjang periode kerja harian tersebut.

Kegiatan operasional bagi tenaga kerja pada unit produksi di lapangan dijalankan selama 12 jam per hari, mulai dari hari Senin hingga Minggu. Sistem ini berlaku secara bergantian melalui pembagian *shift*, di mana setiap pekerja melanjutkan tugas sesuai jadwal waktu yang telah ditetapkan dimulai.

Rincian jadwal operasional tersebut dapat dilihat pada tabel berikut:

**Table 2.3 Kegiatan Operasional Lapangan**

No.	Hari	Waktu (Pergantian Shift)	
		Pagi	Malam
1.	Senin	08.00 – 20.00	20.00 – 08.00
2.	Selasa	08.00 – 20.00	20.00 – 08.00
3.	Rabu	08.00 – 20.00	20.00 – 08.00
4.	Kamis	08.00 – 20.00	20.00 – 08.00
5.	Jumat	08.00 – 20.00	20.00 – 08.00
6.	Sabtu	08.00 – 20.00	20.00 – 08.00
7.	Minggu	08.00 – 20.00	20.0 – 08.00

### **2.2.3 Produk Yang Dihasilkan PT. Pertamina Geothermal Energy area Lahendong**

Pada PT. Pertamina Geothermal Energy Tbk area Lahendong memiliki beberapa bidang bisnis produksi, berikut jenis produk yang dihasilkan:

1. *Steam* (Uap)

PGE Area Lahendong menjalin kerja sama dengan Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) milik PLN dalam penyediaan uap atau *steam* yang digunakan untuk pembangkitan listrik. Pasokan uap yang disuplai ke PLTP PLN Unit 1-4 terdiri atas 51,8 MW untuk Unit 1-2, 49,2 MW untuk Unit 3-4, serta sebesar 83,4 MW untuk mendukung kegiatan operasional.

2. Listrik milik PGE area lahendong

Selain memasok uap ke PLTP milik PLN, PGE Area Lahendong juga mengoperasikan pembangkit sendiri yang berlokasi di Tompaso. PLTP Unit 5-6 menghasilkan listrik dari uap yang diproduksi, kemudian listrik tersebut dijual kepada PLN. Kapasitas uap yang tersedia mencapai 24,5 MW untuk Unit 5 dan 20,1 MW untuk Unit 6, sehingga total ketersediaannya sebesar 44,6 MW.

3. Pupuk Booster Katrili

PGE Area Lahendong terus berinovasi untuk mengembangkan produk sampingan panas bumi. Pupuk Booster Katrili adalah hasil kolaborasi PGE Area Lahendong dengan Fakultas Teknik UGM untuk membantu petani sekitar wilayah operasional PGE memberikan solusi atas tantangan kelangkaan pupuk di Sulawesi Utara. Pupuk Booster Katrili merupakan pupuk cair yang dihasilkan dari endapan silika dari fluida panas bumi yang diolah melalui teknologi nano bersama kitosan. Manfaat Silika:

- Menyuburkan Tanah
- Meningkatkan daya tahan tanaman terhadap serangan hama

### **2.3 Lingkup Pekerjaan yang Dilakukan**

Selama melaksanakan kerja praktik, penulis ditempatkan pada fungsi *Operation* di PT Pertamina Geothermal Energy Area Lahendong. Penulis melaksanakan kerja praktik selama 2 bulan atau setara dengan 378 jam. Pada bagian ini, penulis berkesempatan untuk memahami secara langsung proses

operasional pembangkitan listrik tenaga panas bumi, mulai dari pengawasan sistem produksi uap hingga distribusinya ke pembangkit. Penulis juga turut melakukan pengamatan terhadap aktivitas harian operator di lapangan maupun di *Central Control Room* (CCR), termasuk mempelajari sistem shift kerja yang digunakan untuk menjaga keberlangsungan operasi selama 24 jam penuh. Melalui pengalaman ini, penulis memperoleh gambaran nyata mengenai peran fungsi *Operation* dalam menjaga keberlanjutan produksi dan mendukung pencapaian target perusahaan.

Berikut ini merupakan tabel uraian mengenai kegiatan yang dilakukan oleh penulis selama melaksanakan kegiatan kerja praktik:

**Table 2.4 Uraian Kegiatan Kerja Praktik**

No	Hari/Tanggal	Waktu	Uraian Kegiatan
1.	Senin, 14 Juli 2025	07.30 - 16.00 (8 jam 30 Menit)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mengikuti proses registrasi kehadiran</li> <li>- Perkenalan diri</li> <li>- <i>Medical check-up</i></li> <li>- <i>Induction Safety</i></li> </ul>
2.	Selasa, 15 Juli 2025	07.30 - 16.00 (8 jam 30 Menit)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mengikuti proses registrasi kehadiran</li> <li>- Mengikuti acara sharing session oleh PLN</li> <li>- Diskusi bersama pembimbing lapangan terkait pengetahuan mengenai PGE Lahendong</li> </ul>
3.	Rabu, 16 Juli 2025	07.30 - 16.00 (8 jam 30 Menit)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mengikuti proses registrasi kehadiran</li> <li>- Mempelajari materi pengetahuan</li> </ul>

			mengenai profil PGE
4.	kamis, 17 Juli 2025	07.30 - 16.00 (8 jam 30 Menit)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mengikuti proses registrasi kehadiran</li> <li>- Mengerjakan tugas mengenai materi biaya pembangkitan rata-rata sistem listrik</li> </ul>
5.	Jumat, 18 Juli 2025	07.00 - 15.30 (8 jam)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mengikuti proses registrasi kehadiran</li> <li>- Mempresentasikan hasil tugas yang diberikan</li> </ul>
6.	Senin, 21 Juli 2025	07.30 - 16.00 (8 jam 30 Menit)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mengikuti proses registrasi kehadiran</li> <li>- Turun ke lapangan (lokasi PLTP unit 5-6) untuk mengenal lokasi sumur, pembangkit serta unit operasi</li> <li>- Memahami serta mengamati proses operasional di lapangan</li> <li>- Mempelajari alur proses produksi</li> </ul>
7.	Selasa, 22 Juli 2025	07.30 - 16.00 (8 jam 30 Menit)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mengikuti proses registrasi kehadiran</li> </ul>

			<ul style="list-style-type: none"> <li>- Turun ke lapangan (lokasi PLTP unit 5-6)</li> <li>- Mendampingi serta mempelajari tim operasi dalam inspeksi rutin peralatan pembangkit listrik</li> <li>- Mengamati sistem monitoring <i>control room</i></li> </ul>
8.	Rabu, 23 Juli 2025	07.30 - 16.00 (8 jam 30 Menit)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mengikuti proses registrasi kehadiran</li> <li>- Membantu menginput data aliran listrik ke <i>excel</i></li> </ul>
9.	Kamis, 24 Juli 2025	07.30 - 16.00 (8 jam 30 Menit)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mengikuti proses registrasi kehadiran</li> <li>- <i>Fotocopy</i> berkas</li> <li>- Membantu mengarsip berkas</li> </ul>
10.	Jumat, 25 Juli 2025	07.00 - 15.30 (8 jam)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mengikuti proses registrasi kehadiran</li> <li>- Mengikuti kegiatan jumat bersih</li> </ul>
11.	Senin, 28 Juli 2025	07.30 - 16.00 (8 jam 30 Menit)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mengikuti proses registrasi kehadiran</li> </ul>

			<ul style="list-style-type: none"> <li>- Membantu mengarsip berkas</li> </ul>
12.	Selasa, 29 Juli 2025	07.30 - 16.00 (8 jam 30 Menit)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mengikuti proses registrasi kehadiran</li> <li>- Mengikuti kegiatan <i>Training First aid</i> dan pemadam kebakaran</li> </ul>
13.	Rabu, 30 Juli 2025	07.30 - 16.00 (8 jam 30 Menit)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mengikuti proses registrasi kehadiran</li> <li>- Mengikuti <i>breefing</i> harian</li> <li>- Membantu menyiapkan bahan presentasi untuk rapat tim produksi</li> </ul>
14.	Kamis, 31 Juli 2025	07.30 - 16.00 (8 jam 30 Menit)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mengikuti proses registrasi kehadiran</li> <li>- Membantu pengarsipan dokumen hasil dari audit operasional</li> </ul>
15.	Jumat, 1 Agustus 2025	07.00 - 15.30 (8 jam)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mengikuti proses registrasi kehadiran</li> <li>- Senam pagi</li> <li>- Ibadah harian umat Kristiani PGE</li> </ul>
16.	Senin, 4 Agustus 2025	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Izin ke kampus</li> </ul>

17.	Selasa, 5 Agustus 2025	07.30 - 16.00 (8 jam 30 Menit)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mengikuti proses registrasi kehadiran</li> <li>- Mengikuti <i>breafing</i> harian</li> <li>- Mengikuti pelatihan penggunaan alat pelindung diri (APD)</li> </ul>
18.	Rabu, 6 Agustus 2025	07.30 - 16.00 (8 jam 30 Menit)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mengikuti proses registrasi kehadiran</li> <li>- Membantu pekerjaan staff</li> </ul>
19	Kamis, 7 Agustus 2025	07.30 - 16.00 (8 jam 30 Menit)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mengikuti proses registrasi kehadiran</li> <li>- Membantu merapikan berkas</li> </ul>
20.	Jumat, 8 Agustus 2025	07.00 - 15.30 (8 jam)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mengikuti proses registrasi kehadiran</li> <li>- Mengikuti kegiatan jumat bersih</li> <li>- Membantu mendekor ruangan</li> </ul>
21.	Senin, 11 Agustus 2025	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Izin (sakit)</li> </ul>
22.	Selasa, 12 Agustus 2025	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Izin (sakit)</li> </ul>
23.	Rabu, 13 Agustus 2025	07.30 - 16.00 (8 jam 30 Menit)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mengikuti proses registrasi kehadiran</li> </ul>

			<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mengikuti <i>breafing</i> harian</li> <li>- Membantu pembersihan dan penataan area kerja sebelum operasi</li> <li>- Membantu pekerjaan staf</li> </ul>
24.	Kamis, 14 Agustus 2025	07.30 - 16.00 (8 jam 30 Menit)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mengikuti proses registrasi kehadiran</li> <li>- Mengikuti <i>breafing</i> harian</li> <li>- Membantu pengarsipan dokumen</li> <li>- Membuat laporan harian</li> </ul>
25.	Jumat, 15 Agustus 2025	07.00 - 15.30 (8 jam)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mengikuti proses registrasi kehadiran</li> <li>- Senam pagi</li> <li>- Mengikuti ibadah harian umat Kristiani PGE</li> </ul>
26.	Senin, 18 Agustus 2025	07.30 - 16.00 (8 jam 30 Menit)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mengikuti proses registrasi kehadiran</li> <li>- Turun ke lapangan (lokasi PLTP unit 1-4)</li> <li>- Tur lapangan unit 1-4 untuk mengetahui lokasi</li> </ul>

			sumur serta unit pembangkit
27.	Selasa, 19 Agustus 2025	07.30 - 16.00 (8 jam 30 Menit)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mengikuti proses registrasi kehadiran</li> <li>- Mendampingi kegiatan pemeliharaan ringan untuk perlatan operasi</li> </ul>
28.	Rabu, 20 Agustus 2025	07.30 - 16.00 (8 jam 30 Menit)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mengikuti proses registrasi kehadiran</li> <li>- Berdiskusi dengan pembimbing lapangan mengenai topik pembahasan laporan KP</li> </ul>
29.	Kamis, 21 Agustus 2025	07.30 - 16.00 (8 jam 30 Menit)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mengikuti proses registrasi kehadiran</li> <li>- Membantu pekerjaan staf</li> </ul>
30.	Jumat, 22 Agustus 2025	07.00 - 15.30 (8 jam)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mengikuti proses registrasi kehadiran</li> <li>- Mengikuti kegiatan jumat bersih</li> </ul>
31.	Senin, 25 Agustus 2025	07.30 - 16.00 (8 jam 30 Menit)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mengikuti proses registrasi kehadiran</li> <li>- Membantu pencatatan dan pelaporan hasil pemeliharaan rutin</li> </ul>

32.	Selasa, 26 Agustus 2025	07.30 - 16.00 (8 jam 30 Menit)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mengikuti proses registrasi kehadiran</li> <li>- Mendampingi inspeksi peralatan listrik pembangkit</li> </ul>
33.	Rabu, 27 Agustus 2025	07.30 - 16.00 (8 jam 30 Menit)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mengikuti proses registrasi kehadiran</li> <li>- Membantu pengaturan alat serta perlengkapan kerja</li> </ul>
34.	Kamis, 28 Agustus 2025	07.30 - 16.00 (8 jam 30 Menit)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mengikuti proses registrasi kehadiran</li> <li>- Mengikuti <i>technical meeting</i></li> </ul>
35.	Jumat, 29 Agustus 2025	07.00 - 15.30 (8 jam)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mengikuti proses registrasi kehadiran</li> <li>- Senam pagi</li> <li>- Mengikuti <i>technical meeting</i></li> <li>- Kegiatan lomba <i>Pra-Geovation</i></li> </ul>
36.	Senin, 1 September 2025	07.30 - 16.00 (8 jam 30 Menit)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mengikuti proses registrasi kehadiran</li> <li>- Membantu staf dalam mengatur persiapan lomba <i>Pra-Geovation</i></li> </ul>

37.	Selasa, 2 September 2025	07.30 - 16.00 (8 jam 30 Menit)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mengikuti proses registrasi kehadiran</li> <li>- Berpartisipasi sebagai <i>time keeper</i> dalam kegiatan lomba <i>Pra-Geovation</i></li> </ul>
38.	Rabu, 3 September 2025	07.30 - 16.00 (8 jam 30 Menit)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mengikuti proses registrasi kehadiran</li> <li>- Berpartisipasi sebagai <i>time keeper</i> dalam kegiatan lomba <i>Pra-Geovation</i></li> </ul>
39.	Kamis, 4 September 2025	07.30 - 16.00 (8 jam 30 Menit)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mengikuti proses registrasi kehadiran</li> <li>- Berpartisipasi sebagai <i>time keeper</i> dalam kegiatan lomba <i>Pra-Geovation</i></li> </ul>
40.	Jumat, 5 September 2025	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Libur</li> </ul>
41.	Senin, 8 September 2025	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Izin ke kampus</li> </ul>
42.	Selasa, 9 September 2025	07.30 - 16.00 (8 jam 30 Menit)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mengikuti proses registrasi kehadiran</li> <li>- Mengikuti <i>breafing</i> harian</li> </ul>

			<ul style="list-style-type: none"> <li>- Membantu dalam pengarsipan dokumen</li> </ul>
43.	Rabu, 10 September 2025	07.30 - 16.00 (8 jam 30 Menit)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mengikuti proses registrasi kehadiran</li> <li>- Mengikuti <i>breafing</i> harian</li> <li>- Membuat ringkasan harian aktivitas operasi untuk diserahkan kepada pembimbing lapangan</li> </ul>
44.	Kamis, 11 September 2025	07.30 - 16.00 (8 jam 30 Menit)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mengikuti proses registrasi kehadiran</li> <li>- Mengikuti <i>breafing</i> harian</li> <li>- Mengikuti <i>workshop</i> internal teknis yang diadakan oleh perusahaan</li> <li>- <i>Fotocopy</i> dokumen</li> </ul>
45.	Jumat, 12 September 2025	07.00 - 15.30 (8 jam)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mengikuti proses registrasi kehadiran</li> <li>- Mengikuti senam pagi</li> </ul>

			<ul style="list-style-type: none"><li>- Mengikuti <i>briefing</i> harian</li><li>- Diskusi evaluasi hasil kerja praktik dengan pembimbing lapangan.</li></ul>
--	--	--	---

## **BAB III**

### **METODOLOGI PEMECAHAN MASALAH**

#### **3.1 Landasan Teori**

##### **3.1.1 Energi Panas Bumi**

Energi panas bumi adalah energi yang berasal dari panas alami yang tersimpan di dalam inti dan lapisan bumi. Panas ini terbentuk melalui dua proses utama, yaitu sisa panas pembentukan bumi dan peluruhan radioaktif unsur-unsur seperti uranium, thorium, dan kalium-40 yang terus menghasilkan energi termal di dalam bumi,. Perbedaan temperatur antara inti bumi yang sangat panas dengan permukaan bumi menyebabkan aliran energi konduksi dan konveksi sampai ke permukaan bumi dengan gradien panas geothermal rata-rata 25-30°C per kilometer[3].

Energi panas bumi muncul ke permukaan melalui fenomena geologi seperti mata air panas (*hot springs*), geyser, dan fumarole. Mata air panas terbentuk ketika air tanah yang dalam bersentuhan dengan batuan panas naik ke permukaan melalui celah retakan. Geyser terjadi saat air panas terperangkap dan terakumulasi di rongga bawah tanah sampai tekanan sangat tinggi hingga dilepaskan dalam bentuk semburan uap dan air panas,. Fumarole merupakan ventilasi gas panas vulkanik yang keluar dari rongga bumi melalui retakan[4].

Pemanfaatan energi panas bumi dapat berupa pembangkit listrik melalui sumur bor dalam yang memanfaatkan uap dan air panas untuk menggerakkan turbin. Selain itu, energi panas bumi digunakan secara langsung (*direct use*) dalam pemanasan bangunan, pemanasan rumah kaca untuk pertanian, budidaya ikan (*akuakultur*), dan berbagai proses industri seperti pengeringan hasil pertanian dan sterilisasi,. Penggunaan langsung ini efisien karena dapat menyalurkan panas secara langsung tanpa melalui konversi listrik.

Energi panas bumi adalah sumber energi terbarukan karena panas bumi terus dihasilkan oleh proses peluruhan radioaktif dan panas residual sejak pembentukan bumi, menjadikannya tersedia dalam jangka waktu sangat lama,. Selain itu, energi panas bumi ramah lingkungan dengan emisi gas rumah kaca rendah, yaitu antara 6-38 g CO<sub>2</sub>/kWh, jauh lebih rendah dibanding bahan bakar

fosil. Pembangkit listrik panas bumi dapat beroperasi secara berkelanjutan 24 jam sehari tanpa tergantung cuaca, dengan faktor kapasitas hingga 90-95%[3].

Keunggulan utama energi panas bumi meliputi ketersediaan yang konstan sepanjang waktu, keberlanjutan sumber energi, dan dampak lingkungan minimal dalam bentuk jejak emisi dan penggunaan lahan yang kecil dibandingkan sumber energi fosil dan beberapa energi terbarukan lainnya[5].

### **3.1.2 Proses Pengeboran Panas Bumi**

Pengeboran sumur panas bumi merupakan tahapan paling krusial dalam pengembangan energi panas bumi , yang bertujuan untuk membuktikan keberadaan temperatur serta membuat jalur akses untuk fluida (uap atau air panas) dari *reservoir* di bawah permukaan. Proses ini secara prinsip melibatkan beberapa kegiatan inti :

1. Transmisi Energi (*Rock Reduction*): Energi putar ditransmisikan dari permukaan melalui rangkaian pipa (*drill string*) untuk memutar mata bor (*bit*) di dasar lubang.
2. Penghancuran Batuan: Mata bor di bagian bawah rangkaian menghancurkan, menggerus, atau memotong formasi batuan menjadi serpihan kecil yang disebut *cuttings* (serbuk bor).
3. Pengangkatan Serbuk Bor (*Removal*): Fluida pengeboran (lumpur) dipompa ke bawah melalui bagian dalam pipa bor, keluar melalui *nozzle* di mata bor, kemudian mengalir kembali ke permukaan melalui ruang antara pipa bor dan dinding lubang (disebut *annulus*), sambil membawa *cuttings*.
4. Menjaga Stabilitas Lubang: Fluida pengeboran juga berfungsi menahan dinding lubang bor agar tidak runtuh.
5. Pengendalian Sumur (*Well Control*): Menjaga agar fluida formasi (uap atau air panas) tidak menyembur secara liar ke permukaan.

Pengeboran panas bumi menghadapi tantangan teknis yang kompleks karena lingkungan kerja yang ekstrem, dengan suhu dan tekanan tinggi yang bisa merusak peralatan. Risiko seperti *blowout* (semburan liar) gas dan fluida panas memerlukan kontrol ketat selama pengeboran,. Selain itu, ketidakstabilan formasi batuan akibat suhu tinggi harus diantisipasi dengan pemilihan lumpur bor dan

casing yang tepat untuk memastikan kelancaran pengeboran dan keselamatan sumur.

Teknologi pengeboran rotary drilling dengan sistem top drive atau motor bawah permukaan (*downhole motor*) diterapkan untuk efisiensi dan presisi dalam menggerus formasi batuan,. Pemasangan casing dan liner dengan bantuan centralizer serta metode perforasi untuk mengatur aliran fluida dilakukan untuk meningkatkan produktivitas sumur dan menjaga integritas lubang bor.

Optimalisasi proses pengeboran seperti pengaturan *nozzle jet fluida bor* dan laju pompa ditujukan untuk memaksimalkan laju pemboran dan efisiensi pengangkatan serpihan ke permukaan[4].

### **3.1.3 Karakteristik Pengeboran Panas Bumi**

Pengeboran panas bumi memiliki perbedaan fundamental dibandingkan pengeboran minyak dan gas (Migas) konvensional. Karakteristik unik ini mempengaruhi pemilihan peralatan, material, dan prosedur operasi. Perbedaan utamanya meliputi:

1. *Temperatur Tinggi*

Sumur panas bumi umumnya memiliki temperatur yang sangat tinggi ( $>150^{\circ}\text{C}$ ), sehingga memerlukan peralatan bawah permukaan (*downhole tools*) dengan spesifikasi khusus yang tahan panas. Penelitian menunjukkan bahwa *reservoir geothermal* umumnya memiliki rentang temperatur antara 160 hingga lebih dari  $300^{\circ}\text{C}$  ( $320$  hingga  $572^{\circ}\text{F}$ ). Pada kondisi ini, peralatan konvensional yang dirancang untuk operasi migas akan mengalami degradasi cepat karena keterbatasan material penyusunnya. Elektronik dan sensor *downhole tool* pada umumnya hanya mampu beroperasi hingga  $175\text{-}180^{\circ}\text{C}$ , namun di banyak lapangan panas bumi modern, peralatan dengan rating hingga  $300^{\circ}\text{C}$  menjadi keharusan. Untuk mengatasi tantangan ini, *downhole tools* harus dilengkapi dengan insulasi termal, *heat shield*, dan sistem pendingin khusus guna mempertahankan fungsi komponennya. Sebagai contoh, motor lumpur dan *drill string* memerlukan pemilihan material yang cermat dengan *seal*

berbasis Viton, Aflas, atau metal-to-metal seal yang mampu bertahan pada suhu ekstrem[6,7].

## 2. *Formasi Batuan*

Pengeboran panas bumi menembus batuan vulkanik atau beku yang keras, abrasif, dan memiliki kandungan kuarsa tinggi, berbeda dengan batuan sedimen pada sumur migas. Formasi ini dicirikan oleh kekerasan uniaksial lebih dari 240 MPa dan tingkat abrasi yang sangat tinggi. Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa mekanisme keausan mata bor di sumur panas bumi berbeda signifikan dibandingkan sumur migas konvensional. Keausan bearing pada mata bor gesekan (*friction bearing rock-bits*) meningkat drastis pada temperatur lubang bawah yang tinggi, menyebabkan umur operasional mata bor jauh lebih pendek. Untuk mengatasi tantangan ini, operator biasanya menggunakan mata bor PDC (*Polycrystalline Diamond Compact*) atau *tricone bits* yang telah dioptimalkan khusus untuk formasi vulkanik keras dan abrasif. Pemilihan profil *cutting structure* yang tepat, berupa *parabolic cone* dan *extended shoulder*, diperlukan untuk meningkatkan *penetration rate* (ROP) dan *durabilitas bit* di aplikasi *geothermal*[7].

## 3. *Zona Hilang Sirkulasi (Loss Circulation)*

Formasi batuan panas bumi umumnya memiliki rekahan alami yang sangat banyak (*highly fractured*) dengan tekanan formasi rendah (*subnormal pressure*). Hal ini menyebabkan fluida pengeboran rentan hilang masuk ke dalam rekahan (TLC/*Total Loss Circulation*). Studi komprehensif menunjukkan bahwa kehilangan sirkulasi merupakan masalah paling mahal yang secara rutin dihadapi dalam pengeboran geothermal, rata-rata menyumbang 10 persen dari total biaya sumur di area geothermal matang, dan sering mencapai lebih dari 20 persen pada sumur eksplorasi dan lapangan yang sedang berkembang. Secara teknis, kehilangan sirkulasi didefinisikan sebagai kehilangan total atau sebagian fluida pengeboran ke dalam zona dengan permeabilitas tinggi, formasi berlubang, atau rekahan alami dan terinduksi. *Reservoir* panas bumi yang khas sering terdapat pada tekanan kurang dari normal dan memiliki rekahan alami dengan bukaan

pada orde centimeter. Penelitian numerik menunjukkan bahwa pada kondisi temperatur tinggi, *material lost circulation convention* (LCM) yang berelemen granular mengalami degradasi signifikan karena sifat mekanik partikel berkurang dan viskositas fluida pengeboran menurun. Kegagalan dalam menyealing rekahan dapat mengakibatkan *stuck pipe*, ketidakstabilan sumur, dan bahkan *abandonment* sumur[8].

#### 4. *Kebutuhan Air*

Karena sering terjadi *loss circulation*, operasi pengeboran panas bumi mewajibkan ketersediaan suplai air yang kontinu dan sangat andal. Analisis kasus lapangan menunjukkan bahwa untuk sumur bore besar panas bumi di Indonesia, total kebutuhan air dapat mencapai 613,467 galon sebelum operasi pengeboran dimulai. Kebutuhan ini meningkat seiring dengan adanya zona *loss circulation* yang parah—estimasi menunjukkan permintaan air dapat meningkat hingga 130.49 persen dari volume lubang sumur semula ketika *loss circulation* diperhitungkan. Tantangan tambahan adalah fluktuasi ketersediaan air musiman; di daerah tropis seperti Indonesia dengan musim penghujan dan musim kemarau, ketersediaan air permukaan dari sungai atau danau bervariasi secara signifikan. Selain itu, air dari sumber alternatif seperti brine dan kondensat dari fasilitas panas bumi yang ada memiliki kontaminasi bahan beracun seperti *fluorine* dan *boron* pada konsentrasi tinggi, serta logam terlarut yang memerlukan perlakuan khusus sebelum digunakan[6].

#### 5. *Kandungan Gas (NCG)*

Adanya gas *non-kondensasi* seperti CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>S (gas beracun dan korosif) memerlukan penanganan khusus terkait keselamatan (K3LL) dan pemilihan material. Gas *non-kondensasi* (NCG) secara alami terjadi dalam fluida geothermal sebagai hasil degassing dari kamar magma bawah tanah dan interaksi *fluid-rock* di dalam *reservoir*. Gas paling dominan dalam geothermal adalah CO<sub>2</sub>, diikuti oleh H<sub>2</sub>S dan CH<sub>4</sub>, dengan konsentrasi yang bervariasi tergantung kondisi geologis dan geokimia *reservoir*. H<sub>2</sub>S merupakan gas sangat beracun yang memerlukan penanganan khusus dalam hal keselamatan kerja dan pemilihan material untuk mencegah

korosi. Penelitian material *corrosion* di lapangan *geothermal* menunjukkan bahwa baja karbon dan pipa mengalami korosi dengan laju percepatan tinggi kehadiran uap *superheat* yang mengandung gas tersebut. Konsentrasi CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>S yang lebih tinggi dalam uap secara signifikan mempengaruhi laju korosi dalam pipa *steam line*, dan suhu yang lebih tinggi akan meningkatkan laju korosi lebih lanjut. Untuk mitigasi, material yang tahan korosi seperti *alloy Ni-Cr-Mo* dan *coating* khusus diperlukan dalam desain *completion* dan *production string*[9,10].

#### 6. Desain Sumur

Sumur panas bumi diselesaikan menggunakan *slotted liner* (pipa berlubang) di zona produksi, bukan tubing seperti pada sumur migas. Penggunaan *slotted liner* di sumur panas bumi harus mempertimbangkan efek termal pada integritas struktural tubular. Penelitian menunjukkan bahwa stress termal yang terinduksi oleh temperatur tinggi dapat secara substansial merusak kekuatan *collapse* dari *slotted liner*. Analisis parameter menunjukkan bahwa tingkat kinerja *slotted liner* merosot signifikan dalam kondisi tekanan eksternal tinggi dikombinasikan dengan *thermal stress*. Pemilihan konfigurasi *holes/slots* yang tepat menjadi kritis; sebagai contoh, liner dengan lubang diameter kecil (kurang dari 12 mm) dan kepadatan lubang tinggi (lebih dari 90 lubang/m) harus digunakan dengan hati-hati karena penurunan kekuatan *collapse* yang lebih drastis. Untuk *slotted liner*, *inline pattern* dengan kepadatan slot rendah (kurang dari 60 slot/m), panjang slot pendek (kurang dari 80 mm), dan sudut fase kecil (kurang dari 80°) menunjukkan kekuatan *collapse* yang lebih tinggi ketika terkena temperatur tinggi[11].

#### 7. Penyemenan

Integritas semen sangat krusial dan harus mampu menahan siklus termal (panas-dingin) yang ekstrem selama sumur berproduksi. *Thermal cycling* pada sumur panas bumi dengan temperatur tinggi menginduksi stress signifikan pada selubung semen, terutama pada antarmuka *casing-cement*. Analisis stress menunjukkan bahwa diferensial temperatur antara casing dan formasi memiliki pengaruh lebih besar pada integritas semen

dibandingkan dengan beban tekanan sumur. Dua pola aliran panas berbeda terjadi: aliran panas dari formasi ke casing (tipikal pada sumur injeksi) dan aliran panas dari casing ke formasi (tipikal pada sumur produksi), masing-masing menghasilkan mekanisme kegagalan yang berbeda. Penelitian transient termal pada semen dengan temperatur sangat tinggi (hingga 550°C) menunjukkan bahwa peningkatan temperatur menyebabkan peningkatan tekanan pori semen secara dramatis, tergantung pada kepadatan massa spesifik air pori. Transformasi fase kimiawi (seperti perubahan C-S-H menjadi fase Xonotlite) dapat terjadi pada temperatur tertentu, menyebabkan peningkatan porositas dan perubahan kepadatan massa air pori, yang mengakibatkan pembukaan *micro-annuli* pada batas-batas selubung semen. Untuk mencegah kegagalan semen, diperlukan formulasi semen khusus dengan penambahan *silica flour* (40% atau lebih), retardan, dan material yang tahan terhadap serangan asam dan CO<sub>2</sub>[12-14].

#### 8. Persiapan Lokasi

Lokasi pengeboran panas bumi seringkali berada di daerah pegunungan, sehingga persiapan lokasi (infrastruktur jalan dan *well pad*) memakan waktu dan biaya yang signifikan. Lokasi *geothermal* di banyak negara, terutama Indonesia, biasanya terletak di daerah pegunungan terpencil dengan medan berbukit yang curam. Kondisi topografi ini menciptakan tantangan konstruksi yang unik dibandingkan lokasi migas konvensional di dataran. Lebar tanah yang diperlukan untuk jalan akses dalam proyek geothermal berkisar antara 8 hingga 15 meter, berdasarkan lebar badan jalan 6 meter ditambah 2 meter untuk konstruksi drainase. Ketika *terrain relief* tinggi, persiapan lokasi jauh lebih menantang daripada *terrain* datar karena karakteristik topografis seperti lereng curam yang dapat menciptakan kesulitan dalam menyiapkan area datar untuk *well pad*. Area *well pad* untuk sumur *geothermal* sering berlokasi jauh dari target *reservoir*, memaksa *drilling engineer* mendesain *trajectory* sumur *high-angle*. Persiapan melibatkan *cut-and-fill method* di mana setengah dari lokasi pengeboran diisi dengan material atau tanah untuk mengkompensasi

area yang digali sehingga permukaan yang datar terbentuk. Sistem drainase yang memadai harus dibuat untuk meminimalkan potensi longsor dari air hujan. Tambahan tantangan adalah mobilisasi peralatan pengeboran melalui medan pegunungan hutan yang curam, sering kali memerlukan konstruksi jalan akses hingga 13 kilometer atau lebih. Lokasi *geothermal* yang berada di area dengan tektonik aktif juga menuntut studi geohazard mendalam termasuk prediksi potensi *liquefaction*, ledakan *hydrothermal*, dan emisi H<sub>2</sub>S natural yang dapat membahayakan konstruksi dan operasi[15].

### 3.1.4 Sistem Utama Peralatan Pengeboran (*Rig System*)



**Gambar 3.1 Rig Pengeboran**

Sumber : Data Perusahaan Pengeboran *Geothermal*

Secara umum, instalasi pengeboran (*Rig*) terdiri dari lima sistem utama yang bekerja secara terintegrasi[16].

### 1. Sistem Pengangkat (Hoisting System)

Sistem pengangkat adalah komponen rig yang berfungsi untuk mengangkat, menahan, dan menurunkan beban rangkaian pengeboran (*drill string*), *casing*, dan perlengkapan lainnya masuk atau keluar sumur. Komponen utamanya meliputi:

- b. **Menara (Derrick/Mast):** Struktur rangka baja vertikal yang menyediakan ruang untuk menaik-turunkan rangkaian pipa. Ketinggiannya menentukan seberapa panjang rangkaian pipa yang bisa ditangani.
- c. **Substruktur (Substructure):** Konstruksi baja yang menjadi pondasi penunjang menara dan lantai bor.
- d. **Lantai Bor (Rig Floor):** Meja kerja utama tempat sebagian besar operasi pengeboran berlangsung.
- e. **Peralatan Derek (Drawwork):** Merupakan derek besar (*winch*) yang menjadi mesin utama untuk menggulung dan mengulur *drilling line* (kabel baja) untuk menaik-turunkan *block*.
- f. **Peralatan Overhead (Overhead Tools):** Terdiri dari *Crown Block* (kumpulan katrol di puncak menara) dan *Travelling Block* (kumpulan katrol yang bergerak naik-turun di bawah *crown block* untuk mengangkat beban).

### 1. Sistem Pemutar (Rotating System)

Sistem pemutar berfungsi untuk memberikan gaya putar dari permukaan ke mata bor (*bit*) di dasar lubang. Sistem ini terdiri dari dua kelompok utama:

- A. **Peralatan Putar (Rotary Assembly):** Komponen di permukaan yang menghasilkan putaran. Pada rig modern, ini menggunakan *Top Drive*, sebuah motor bor besar yang terintegrasi dengan *travelling block* dan langsung memutar rangkaian pipa dari atas. Sistem ini juga mencakup *Swivel* (alat penghubung), yang memungkinkan fluida sirkulasi dipompa ke dalam rangkaian pipa yang sedang berputar.
- B. **Rangkaian Pipa Pemboran (Drill Stem/String):** Seluruh rangkaian pipa yang menghubungkan peralatan putar di permukaan dengan

mata bor di dasar sumur. Rangkaian ini (secara umum dari atas ke bawah) terdiri dari:

- a. ***Drill Pipe (DP)***: Pipa utama yang membentuk mayoritas panjang rangkaian.
- b. ***Heavy Weight Drill Pipe (HWDP)***: Pipa transisi yang lebih berat dan kaku antara DP dan *Drill Collar*.
- c. ***Drill Collar (DC)***: Pipa berdinding tebal yang berfungsi sebagai pemberat (*Weight on Bit/WOB*) untuk menekan mata bor.
- d. ***Mud Motor (jika digunakan)***: Alat yang mengubah energi hidrolik dari lumpur menjadi putaran mekanis langsung di atas mata bor, digunakan untuk pengeboran berarah (*directional drilling*).
- e. ***Bit (Mata Bor)***: Ujung tombak rangkaian yang berfungsi menghancurkan batuan.

## 2. Sistem Sirkulasi (*Circulating System*)

Sistem sirkulasi adalah "sistem peredaran darah" pada rig. Fungsinya adalah mengalirkan fluida pengeboran (lumpur) dari permukaan, turun melalui bagian dalam *drill string*, keluar melalui mata bor, lalu naik kembali ke permukaan melalui *annulus*. Fungsi utamanya adalah mengangkat serbuk bor ke permukaan. Komponen utama sistem ini adalah:

- A. ***Mud Pump (Pompa Lumpur)***: Pompa bertekanan tinggi yang memompa fluida ke dalam sumur
- B. ***Mud Pits/Tanks***: Bak penampung lumpur di permukaan.
- C. ***Mud Mixing Equipment***: Peralatan untuk mencampur material lumpur.
- D. Peralatan Pengkondisian Lumpur (Mud Conditioning):
  - a. ***Solid Control Equipment***: Peralatan seperti *Shale Shaker*, *Desander*, dan *Desilter* yang berfungsi memisahkan serbuk bor (*cuttings*) dari lumpur yang kembali dari sumur agar lumpur bersih dapat digunakan kembali.

- b. **Cooling Tower (Menara Pendingin):** Peralatan vital untuk menurunkan temperatur lumpur yang kembali dari sumur (yang bisa sangat panas) sebelum dipompa kembali ke dalam sumur.
3. *Sistem Daya (Power System)*

Sistem daya adalah unit pembangkit tenaga yang menyuplai dan mendistribusikan listrik untuk menggerakkan keempat sistem lainnya. Komponen utamanya adalah:

- a. **Power Supply (Prime Mover):** Biasanya berupa mesin diesel internal combustion berkapasitas besar yang menggerakkan generator listrik.
- b. **Distribution (Transmission):** Sistem yang menyalurkan tenaga (listrik) dari generator ke motor-motor di *Drawwork*, *Mud Pump*, *Top Drive*, dan peralatan lainnya.

4. *Sistem Pencegah Semburan Liar (BOP System)*

Sistem BOP adalah perangkat keselamatan utama yang berfungsi untuk menutup sumur dan mencegah terjadinya semburan liar (*steam kick* atau *blow out*) jika terjadi aliran fluida formasi yang tidak terkendali masuk ke lubang bor. Komponen utamanya meliputi:

- a. **Annular Preventer:** Komponen BOP yang dapat menutup lubang *annulus* dengan atau tanpa rangkaian pipa di dalamnya.
- b. **Ram Preventer:** Komponen BOP yang menutup lubang bor menggunakan "Ram". Terdiri dari *Pipe Ram* (menutup mengelilingi pipa bor), *Blind Ram* (menutup saat tidak ada pipa), dan *Shear Ram* (mampu memotong pipa bor dan menutup sumur).
- c. **Accumulator:** Unit tabung hidrolik bertekanan tinggi yang menyimpan energi untuk menggerakkan (menutup/membuka) BOP secara cepat saat darurat.
- d. **Choke dan Killing Line:** Jaringan pipa dan katup bertekanan tinggi yang digunakan untuk mengendalikan tekanan sumur saat terjadi *kick*.

### 3.1.5 Tahapan Operasi Pengeboran Sumur Panas Bumi

Operasi pengeboran sumur panas bumi mengikuti serangkaian tahapan yang terstandarisasi dalam praktik industri[17,18].

#### 1. Persiapan Lokasi (*Site Preparation*)

Sebelum rig didatangkan, lokasi harus disiapkan. Ini adalah fase krusial di area panas bumi yang seringkali berada di pegunungan. Tahapan ini meliputi:

- a. **Pembuatan Jalan Akses (*Access Road*):** Membangun atau memperkeras jalan yang mampu menahan beban berat dari konvoi rig .
- b. **Penyiapan Tapak Pengeboran (*Well Pad*):** Meratakan dan memadatkan area yang cukup luas (umumnya 80m x 100m) untuk menampung semua peralatan rig, material, dan area *camp*.
- c. **Instalasi *Conductor Pipe*:** Memasang pipa berdiameter besar (misal 30 inci) di kedalaman dangkal (30-48 m) sebagai pondasi awal sumur dan pengarah sirkulasi.
- d. **Pembuatan *Cellar*:** Membangun ruang bawah tanah (lubang beton) di bawah lantai rig sebagai tempat instalasi *wellhead* dan BOP .
- e. **Penyiapan Suplai Air:** Membangun sistem suplai air dan kolam penampung (*water pond*) bervolume besar (ribuan m<sup>3</sup>) yang sangat vital .

#### 2. Pengeboran Lubang (*Drilling Section*)

Setelah rig selesai dipasang (*Rig Up*), proses pengeboran dilakukan secara bertahap (*per section*). Setiap *section* memiliki diameter lubang yang lebih kecil dari sebelumnya. Contoh tahapan untuk *Big Hole Design* :

- a. ***Section 1 (Surface Hole)*:** Mengebor lubang berdiameter besar (misal 26 inci) menggunakan BHA.
- b. ***Section 2 (Production Hole)*:** Mengebor lubang diameter menengah (misal 17 ½ inci) hingga mencapai atas *reservoir*.
- c. ***Section 3 (Reservoir/Liner Hole)*:** Mengebor lubang diameter akhir (misal 12 ¼ inci) menembus zona *reservoir*.

### **3. Pemasangan Rangkaian Casing (*Running Casing*)**

Setelah satu *section* lubang selesai dibor, rangkaian pipa bor ditarik keluar (*Pull Out of Hole/POOH*). Selanjutnya, pipa selubung (*casing*) dimasukkan ke dalam lubang. *Casing* adalah pipa baja yang berfungsi menjaga kestabilan lubang bor agar tidak runtuh dan mengisolasi zona-zona formasi (misal, zona air dingin dari zona panas). Tipe *casing* yang umum digunakan dari luar ke dalam adalah *Surface Casing* (misal 20 inci) dan *Production Casing* (misal 13  $\frac{3}{8}$  inci).

### **4. Penyemenan (*Cementing*)**

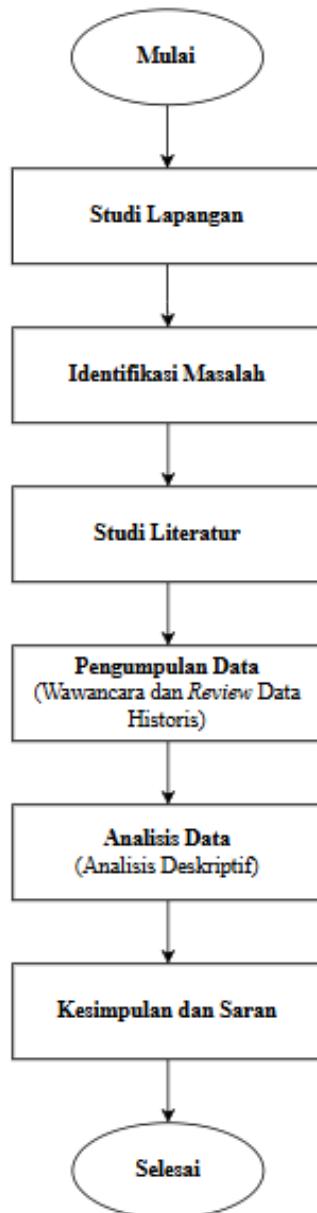
Setelah *casing* terpasang pada kedalamannya, dilakukan penyemenan. Bubur semen dipompa turun melalui bagian dalam *casing* dan naik mengisi ruang di *annulus* (antara *casing* dan dinding lubang bor). Tujuannya adalah untuk mengisolasi zona, melindungi *casing* dari fluida korosif, dan memberikan topangan struktural pada *casing*.

### **5. Komplesi Sumur (*Well Completion*)**

Setelah *section* produksi (*reservoir*) selesai dibor, sumur akan dikomplesi. Pada sumur panas bumi, kompleksi dilakukan dengan memasang *Perforated Liner* atau *Slotted Liner*. Ini adalah pipa yang sudah dilubangi/diberi celah, yang dipasang di zona *reservoir* untuk menyaring fluida panas bumi agar dapat mengalir ke dalam sumur, sambil menahan batuan *reservoir* agar tidak ikut masuk. Setelah itu, rig akan dibongkar (*Rig Down*) dan sumur siap untuk diuji produksi (*Well Testing*).

## **3.2 Langkah Pemecahan Masalah**

Adapun metodologi penulisan laporan kerja praktik yang dibuat dan dilakukan penulis dapat dilihat dari diagram alir dibawah ini.



**Gambar 3.2 Diagram Alir Laporan Kerja Praktik**

Berikut adalah penjelasan lebih lanjut tentang setiap tahapan pada laporan kerja praktik :

1. Studi Lapangan

Penulis melaksanakan studi lapangan melalui program Kerja Praktik/Magang di PT Pertamina *Geothermal Energy* Tbk, Area Lahendong, selama periode dua bulan. Studi lapangan ini merupakan fondasi primer pengumpulan data utama, karena penulis diizinkan untuk mengakses dokumen operasional *Drilling Site* Sumur TPS-A.1

## 2. Identifikasi Masalah

Setelah mengidentifikasi proses pengeboran sumur , penulis melakukan Identifikasi Masalah. Hal ini dilakukan dengan mengamati alur kerja, mencatat kejadian operasional, dan mengidentifikasi ketidaksesuaian atau tantangan teknis yang muncul selama proses pengeboran. Dari identifikasi ini, fokus laporan ditetapkan pada deskripsi dan analisis Proses Pengeboran Sumur TPS-A.1.

## 3. Studi Literatur

Untuk memperdalam pemahaman penulis, dilakukan studi literatur dengan meninjau berbagai sumber seperti jurnal, buku, dan referensi lain yang relevan dengan topik pembahasan.

## 4. Pengumpulan Data

Data diperoleh melalui analisis data historis berupa catatan proses pengeboran masa lalu serta wawancara mendalam dengan beberapa narasumber yang memiliki keterkaitan dan pemahaman terhadap kegiatan operasional pengeboran sumur di perusahaan tersebut.

## 5. Analisis Data

Berdasarkan dokumen teknis yang tersedia, data dalam laporan ini dianalisa secara deskriptif. Data yang digunakan termasuk ukuran bit (Mata bor), *casing*, penyemenan, dan catatan masalah pengeboran. Seluruh data diurutkan menurut alur pengeboran yang mulai dengan persiapan lokasi, dan berakhir di kompleks sumur. Analisis ini dilakukan untuk mendapatkan pemahaman tentang proses pengeboran TPS-A.1. Kondisi formasi yang ditemukan, dan hambatan. Hasil analisis ini membentuk dasar untuk BAB IV.

## 6. Kesimpulan dan Saran

Tahap akhir merupakan penarikan kesimpulan final berdasarkan hasil analisis komprehensif. Kesimpulan dirumuskan untuk menjawab tujuan laporan secara lugas, sedangkan Saran disusun secara konstruktif dan implementatif, khususnya yang berkaitan dengan potensi perbaikan atau mitigasi tantangan dalam proses pengeboran sumur panas bumi di Area Lahendong.

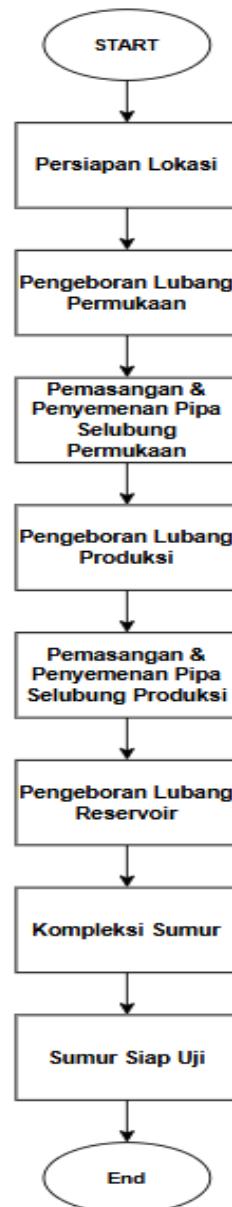
## BAB IV

## PEMBAHASAN

### 4.1 Pengumpulan dan Pengolahan Data

#### 4.1.1 Proses Operasi Pengeboran Sumur TPS-A.1 Tompaso

Kegiatan pengembangan sumber daya energi panas bumi PT. Pertamina *Geothermal Energy* Tbk. Area Lahendong termasuk pengeboran eksplorasi pada sumur TPS-A.1 Tompaso. Pengeboran dilakukan secara bertahap sesuai dengan rencana pengeboran perusahaan, serangkaian prosesnya dapat digambarkan melalui diagram alir operasional (Gambar 4.1).



Gambar 4.1 Diagram Alir Proses Pengeboran

Berikut ini penjelasan tentang alur Proses Operasi Pengeboran Sumur TPS-

A.1 Tompaso dari perusahaan berdasarkan gambar alur proses di atas:

### *1. Persiapan Lokasi*

Tahap *START* proyek, Meliputi kegiatan yang mempersiapkan lokasi pengeboran sumur. Berikut tahapan Persiapan Lokasi:

- Tahap 1: Perencanaan dan Pembebasan Lahan

Identifikasi lokasi optimal berdasarkan data geosains, pengadaan lahan, serta perizinan lingkungan dan operasional untuk meminimalkan risiko geoteknik dan konflik sosial.

- Tahap 2: Konstruksi Akses dan *Wellpad*

Pembangunan jalan akses dengan gradien sesuai rig, dilengkapi jembatan struktural, diikuti pembentukan *wellpad* (landasan sumur) dan ruang bawah tanah (*cellar*) dengan stabilisasi tanah untuk mendukung beban *rig skidding* (perpindahan rig).

- Tahap 3: Instalasi Konduktor dan Utilitas

Pengeboran lubang konduktor via auger (bor ulir), pemasangan pipa konduktor dengan penyemenan primer, bersamaan konstruksi kolam air/lumpur (*mud*) dan sistem *drainase*/saluran pembuangan untuk mendukung sirkulasi fluida berkelanjutan.

- Tahap 4: Mobilisasi dan *Rig Up*

Transportasi rig bertahap (*substructure* = struktur bawah → *prime mover* = penggerak utama → *drawworks* = peralatan tarik utama → *overhead equipment* = peralatan atas), *erecting derrick* (pemasangan menara rig), dan pemasangan BOP (*Blowout Preventer* = pencegah ledakan) untuk integritas sumur.

- Tahap 5: Pengujian

Verifikasi fungsionalitas sistem (*mud pump*/pompa lumpur, hidrolik, pasokan air), uji integritas sambungan, dan sertifikasi keselamatan hingga rig siap *spud-in*/awal pengeboran.

Komponen / Aktivitas	Spesifikasi Teknis	Nilai / Angka Utama
Ukuran lokasi pengeboran	Lokasi sumur berkelompok, tidak termasuk kolam & lubang limbah	80 m × 100 m
Permukaan landasan sumur	Per sumur, disesuaikan lebar struktur bawah rig	15 m × 10 m
Jarak antar sumur	Minimum antar sumur tengah, untuk rig skidding	7–15 m
Ruang bawah tanah (cellar)	Dinding beton bertulang, drainase, tangga akses	2,5 m × 3,0 m × 1,0 m, Ø600 mm
Kolam air	Cadangan operasional 24 jam, laju aliran 1200 GPM	6000–8000 m³
Jalan akses	Gradien & radius tikungan sesuai rig, jembatan/gorong-gorong tahan beban rig	Dekat jalan existing
Konduktor	Pipa OD 30", lubang 36", metode auger/rig, semen ready-mix	Kedalaman 30–48 m
Stabilisasi alas rig	Pemadatan/penguatan tanah, pengisian celah bawah alas rig	Area pemuatan dinamis di penggalian
Urutan rig up	Substructure → prime mover → drawworks → overhead tools → erecting derrick	Testing BOP, mud pump, hidrolik

**Gambar 4.2 Data Persiapan Lokasi**

Sumber : *Daily Drilling Report (DDR) Perusahaan*

## 2. Pengeboran Lubang Permukaan (Surface Hole)

Fase konstruksi ini dimulai dari permukaan dengan diameter lubang terbesar. Fungsi seksi ini bersifat struktural dan preventif: (1) Mengisolasi zona *aquifer* air dangkal serta formasi geologis dangkal yang tidak stabil; dan (2) Menyediakan landasan yang rigid untuk instalasi dan pengujian Sistem *Blowout Preventer* (BOP).

Komponen	Spesifikasi	Kedalaman (mMD)	Keterangan Tambahan
Mata bor lubang permukaan	26 inci	Sampai ~400 m	Membentuk lubang berdiameter terbesar dari permukaan, melewati akuifer dangkal dan formasi tak stabil
Pipa casing 20"	Diameter luar 20", berat 94 lb/ft (grade K-55, sambungan BTC)	Kerah pelampung: 400 m; ujung casing (float shoe): 403 m	Berfungsi sebagai penyangga struktur awal dan batas isolasi zona air tanah dangkal
Campuran semen untuk casing 20"	Depan 14 ppg, belakang 15,8 ppg (semen kelas G)	Tinggi semen hingga mendekati permukaan (TOC)	Mengisolasi zona akuifer dan memberikan landasan kaku untuk pemasangan dan uji BOP

**Gambar 4.3 Data Pengeboran *Surface Hole***

**Sumber : Daily Drilling Report (DDR) Perusahaan**

### 3. Pemasangan & Penyemenan (*Surface Casing + WOC*)

Proses pemasangan dan penyemenan *surface casing* merupakan langkah kunci untuk mengamankan bagian dangkal sumur sebelum pengeboran dilanjutkan ke kedalaman yang lebih besar. Tahap ini juga selalu diakhiri dengan *Waiting on Cement* (WOC), yaitu waktu tunggu hingga semen mencapai kekuatan sesuai dengan ketentuan.

- Tahap pemasangan *surface casing* (pipa selubung)

Setelah lubang permukaan selesai dibor dan dibersihkan, rangkaian pipa *surface casing* (pipa selubung) diturunkan ke dalam lubang hingga mencapai kedalaman desain. Pipa ini biasanya dilengkapi komponen pendukung seperti *float shoe*, *float collar*, dan *centralizer* untuk memastikan posisi *casing* terpusat di dalam lubang dan aliran semen merata di anulus.

Parameter	Satuan Pengukuran	Rentang Tipikal/Target
Kedalaman Casing	meter (mMD)	300-500 m
Berat Casing	lb/ft atau kg/m	94-133 lb/ft
Diameter Luar (OD)	inci	20"
Laju Pompa Semen	bpm	8-12 bpm
Densitas Semen	ppg	14-16 ppg
Volume Perpindahan	bbl	Berdasarkan kapasitas anulus
Waktu Tunggu semen (WOC)	jam	24-48 jam

**Gambar 4.4 Data Pemasangan Surface Casing**

Sumber : *Daily Drilling Report (DDR)* Perusahaan

- Tahap penyemenan *surface casing* (pipa selubung)

Setelah *casing* berada pada kedudukan akhir, bubur semen dipompa dari permukaan melalui bagian dalam *casing* hingga keluar di *shoe* (sepatu *casing*/ujung bawah) dan naik kembali di anulus antara *casing* dan formasi. Proses ini umumnya menggunakan urutan cairan berupa *spacer*, bubur semen, kemudian fluida pendorong, serta menggunakan *plug* atas dan bawah untuk memisahkan fluida dan menjamin perpindahan semen yang efektif. Tujuan utamanya adalah mendapatkan kolom semen kontinu yang mampu mengisolasi akuifer dangkal, menstabilkan formasi lemah, dan memberikan dukungan mekanis pada *casing*.

<b>Parameter</b>	<b>Satuan Pengukura</b>	<b>Rentang Tipikal/Target</b>
Tekanan Pecah	psi	> MAASP 70%
Tekanan Runtuh	psi	Berdasarkan formasi
Beban Tarik	kN	Pemantauan tegangan aksial
Puncak Semen/TOC (Top of Cement)	meter dari surface	Surface atau >100 m
Uji Tekanan Casing	psi	2000-5000 psi hold 30 menit
Temperatur Semen	°C	30-80 °C (BHST adjusted)

**Gambar 4.5 Data penyemenan *Surface casing***

Sumber : *Daily Drilling Report (DDR)* Perusahaan

- *Waiting on Cement* (WOC) dan pengujian

Setelah pemompaan semen selesai dan plug puncak mencapai *float shoe*, operasi dihentikan untuk memasuki periode WOC (*Waiting on Cement*), yaitu waktu tunggu agar semen mengeras dan mencapai kekuatan tekan minimum sesuai ketentuan, misalnya mengacu pada SNI 9247:2024 untuk pengeboran sumur panas bumi. Pada periode ini tidak boleh dilakukan aktivitas yang menimbulkan beban signifikan pada casing atau semen. Setelah WOC selesai, dilakukan pengujian integritas, seperti uji tekanan casing dan verifikasi ketinggian semen, untuk memastikan ikatan semen memadai sebelum pemasangan BOP dan lanjut ke tahap pengeboran berikutnya.

#### 4. Pengeboran Lubang Produksi (*Production Hole*)

Pengeboran lubang produksi dilakukan setelah seksi intermediate selesai, menggunakan mata bor berukuran lebih kecil untuk menembus zona *reservoir* panas bumi yang berisiko kehilangan sirkulasi (*loss circulation*) tinggi dan tekanan abnormal. Fluida pengeboran berbasis minyak sintetik dengan aditif pengontrol kehilangan sirkulasi digunakan, sambil menerapkan teknik pengelolaan tekanan terkendali (*Managed Pressure Drilling*) dan pemantauan kepadatan sirkulasi setara (*Equivalent Circulating Density*). Kontrol arah sumur dioptimalkan dengan sistem penggerak putar (*Rotary Steerable System*) untuk mencapai target *reservoir* secara aman dan efisien.

Komponen	Spesifikasi	Kedalaman (mMD)	Keterangan
Mata bor lubang produksi	17-1/2 inci	Sampai ~1.250 m	Masih termasuk lubang berdiameter besar dari permukaan, menuju puncak zona <i>reservoir</i>
Pipa casing 13-3/8"	Berat 68 lb/ft (grade L-80, semi-premium)	Ujung tali: ±346 m; dudukan casing: ±1.250 m	Mengisolasi formasi batuan di atas <i>reservoir</i> sekaligus menambah kekakuan struktur untuk operasi BOP
Campuran semen untuk casing 13-3/8"	14–16,2 ppg (timbal–ekor, dengan aditif untuk tekanan dan suhu tinggi)	Sekitar 400 m di sekitar ujung casing (float shoe)	Memberikan isolasi zonal tambahan dan mencegah migrasi fluida antar lapisan batuan

**Gambar 4.6 Data Pengeboran Lubang Produksi**

Sumber : *Daily Drilling Report (DDR)* Perusahaan

#### 5. Pemasangan & Penyemenan (*Production Casing + WOC*)

Pemasangan pipa selubung produksi (*production casing*) dilakukan setelah lubang produksi dibersihkan, dengan menurunkan rangkaian pipa lengkap beserta sepatu apung (*float shoe*), kerah apung (*float collar*), dan penjepit pusat (*centralizer*) hingga kedalaman yang direncanakan. Penyemenan dilanjutkan dengan memompa pembersih ruang (*spacer*), bubur semen tahan suhu tinggi, dan cairan pendorong menggunakan sumbat bawah-atas (*plug bawah-atas*) agar semen mengisi celah antara pipa dan dinding lubang (*anulus*) secara merata, sehingga membentuk penghalang yang kuat terhadap tekanan dan panas *reservoir*. Proses ditutup dengan waktu tunggu semen (WOC) singkat selama

12-24 jam agar semen mengeras, diikuti uji tekanan pipa selubung sebelum melanjutkan tahap selanjutnya.

<b>Parameter</b>	<b>Satuan</b>	<b>Rentang Tipikal</b>
Kedalaman Casing	mMD	1500-3000 m
Diameter (OD)	inci	9-5/8"
Berat Casing	lb/ft	40 lb/ft (K-55)
Laju Pompa Semen	bpm	4-8 bpm
Densitas Bubur Semen	ppg	12-15 ppg
Waktu WOC	jam	12-24 jam
Uji Tekanan Casing	psi	5000-10000 psi

**Gambar 4.7 Data Pemasangan & Penyemenan Production Casing**

Sumber : *Daily Drilling Report (DDR) Perusahaan*

#### 6. Pengeboran Lubang Reservoir (Hingga Total Depth/TD)

Pengeboran lubang *reservoir* dimulai setelah production casing dipasang, menggunakan mata bor kecil untuk menembus zona panas bumi hingga mencapai *Total Depth* (TD). Fluida pengeboran khusus dipompa untuk mendinginkan bit dan mengontrol tekanan, sambil memantau risiko *Steam Kick* dengan pengaman sumur (BOP) yang ketat. Pembersihan lubang dilakukan secara berkala untuk hindari pipa terjepit (*stuck pipe*) dan kehilangan sirkulasi total (TLC), hingga kedalaman target tercapai dan lubang stabil untuk tahap selanjutnya.

<b>Komponen</b>	<b>Spesifikasi</b>	<b>Kedalaman (mMD)</b>	<b>Keterangan Tambahan</b>
Mata bor lubang reservoir	12-1/4 inci dan/atau 9-7/8 inci	Sampai ~3.000 m (TD)	Menembus zona fluida panas bumi hingga kedalaman akhir; diameter 9-7/8" tercatat pada insiden stuck pipe
Slotted liner (liner berlubang)	Diameter 10-3/4", berat 40,5 lb/ft (grade K-55, berlubang)	Dipasang di zona reservoir	Tidak disemen, berfungsi sebagai saluran masuk fluida panas bumi ke lubang sumur

**Gambar 4.8 Pengeboran Lubang Reservoir**

Sumber : *Daily Drilling Report (DDR) Perusahaan*

Seksi ini merepresentasikan tingkat risiko operasional dan geologis tertinggi, yang ditandai dengan:

- a. **Tantangan Termal:** Diperlukan spesifikasi peralatan dengan *rating suhu tinggi (High-Temperature Rating)* untuk mempertahankan fungsi mekanis dalam menghadapi temperatur ekstrem formasi.
- b. **Pengendalian Sumur (Well Control):** Terdapat potensi *Steam Kick* yang mengharuskan implementasi prosedur dan pengujian *Sistem Blowout Preventer* (BOP) yang ketat sesuai standar keselamatan.
- c. **Kompleksitas Geologis:** Formasi di trayek *reservoir* dicirikan oleh batuan sangat retak, tekanan di bawah normal, dan kapasitas transmisi fluida yang tinggi. Kondisi ini sering menyebabkan *Total Loss Circulation* (TLC) saat semen atau fluida pengeboran dipompa, serta meningkatkan peluang terjadinya *stuck pipe*, terutama pada lubang berdiameter lebih kecil seperti 9-7/8 inci yang memiliki *annulus* sempit sehingga pembersihan lubang menjadi sangat kritis.

#### 7. Kompleksi Sumur (Run Slotted Liner)

Pemasangan pipa bercelah (slotted liner) pada tahap penyelesaian sumur panas bumi dilakukan setelah mencapai kedalaman target *reservoir*, dengan menurunkan pipa berlubang presisi yang dirancang untuk menahan runtuhan dinding lubang sambil memfasilitasi aliran optimal fluida panas bumi ke permukaan. Proses ini memastikan kestabilan struktural di zona korosif bertemperatur tinggi tanpa menghalangi produktivitas sumur, sehingga mendukung operasi produksi jangka panjang yang efisien dan aman.

#### 8. Sumur Siap Uji (Rig Down)

Tahap END proyek. Rig dibongkar (*Rig Down*) dan sumur diserahkan kepada tim *Well Testing* untuk diuji potensi produksinya.

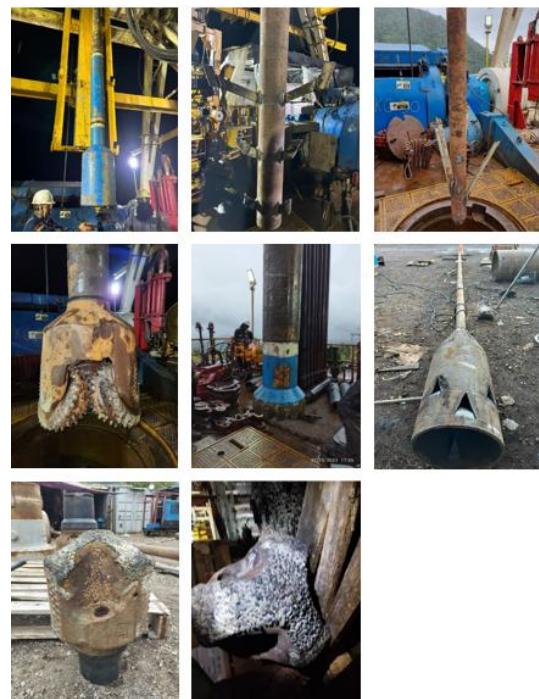
## 4.2 Analisis dan Pemecahan Masalah

### 4.2.1 Permasalahan Yang Terjadi Selama Pengeboran

*Non-Productive Time* (NPT) diartikan sebagai waktu yang dialokasikan untuk kegiatan non-produktif atau darurat di luar skenario pengeboran terencana. Berdasarkan rekapitulasi data yang diperoleh penulis selama mengidentifikasi

proses operasional, proyek pengeboran Sumur TPS-A.1 mengalami NPT yang terakumulasi secara signifikan. Kategori NPT ini tidak hanya mempengaruhi waktu penyelesaian, tetapi juga meningkatkan risiko geologis dan keselamatan. Terdapat berbagai jenis permasalahan *Non-Productive Time* yang memperlambat proses pengeboran, namun penulis hanya mengkategorikan *top 3* NPT yang paling besar dalam mempengaruhi waktu penyelesaian pengeboran sumur. Tiga kategori NPT terbesar (*Top 3 NPT*) yang secara kolektif bertanggung jawab atas mayoritas inefisiensi waktu adalah:

*1. Fishing Operation (66 jam)*



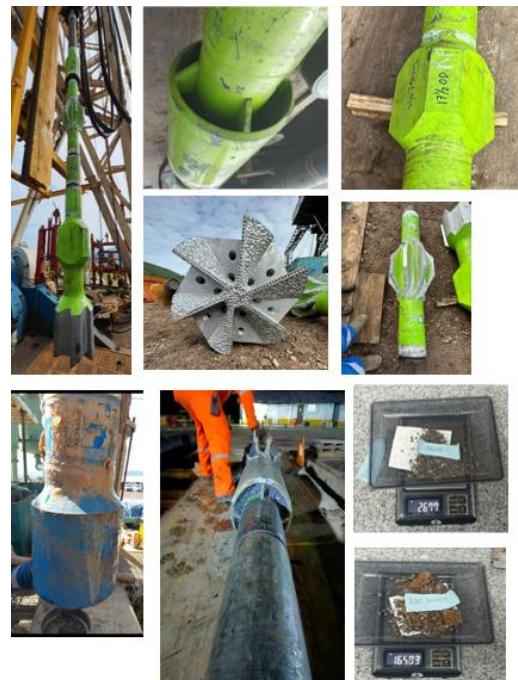
**Gambar 4.9 Fishing Operation**

Sumber : NPT Resume Perusahaan

*Fishing Operation* merupakan NPT paling signifikan yang tercatat dalam operasi ini, menyumbang waktu terbuang sebesar 66 jam, menjadikannya kategori NPT yang paling masif. Insiden ini terjadi akibat kegagalan operasional atau mekanis yang menyebabkan rangkaian bor (*drill string*) atau peralatan kritis lainnya tertinggal di dalam lubang sumur. Upaya penanganan *fishing* bersifat *non-routine* dan sangat kompleks, melibatkan pengoperasian peralatan khusus untuk mengambil benda asing tersebut. Durasi yang sangat panjang (66 jam) menunjukkan bahwa insiden *fishing*

ini merupakan penundaan utama pada Jalur Kritis yang secara langsung dan substansial melipatgandakan waktu penyelesaian sumur.

## 2. Wash/Reaming/Backreaming Unplanned (33 jam)

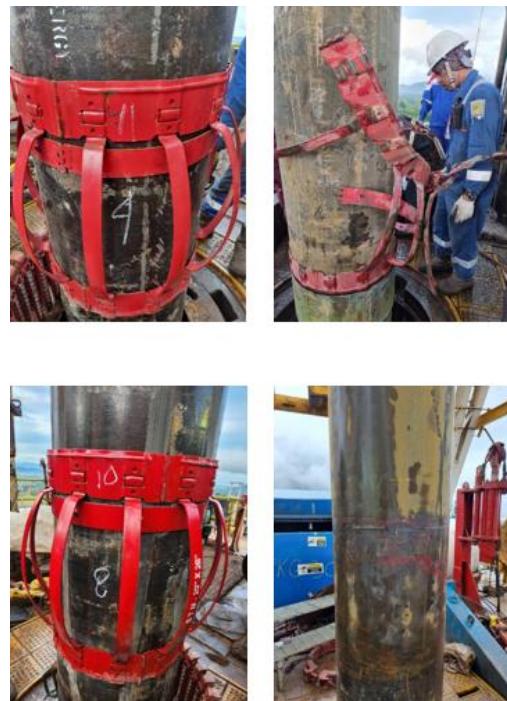


**Gambar 4.10 Operasi Drilling Non-produktif**

Sumber : NPT Resume Perusahaan

Kategori ini menempati posisi kedua NPT terbesar dengan durasi akumulasi 33 jam. *Wash/Reaming/Backreaming* pada dasarnya adalah operasi *drilling* non-produktif yang dilakukan untuk membersihkan lubang sumur, mengatasi penyempitan, atau membebaskan rangkaian bor dari hambatan minor. Kejadian yang bersifat *unplanned* (tidak terencana) mengindikasikan adanya masalah *hole cleaning* yang tidak efektif atau kondisi *hole stability* yang buruk. NPT ini terjadi ketika tim harus berhenti mengebor untuk melakukan pembersihan lubang secara berulang, menandakan adanya inefisiensi pada parameter pengeboran harian atau manajemen lumpur bor yang kurang optimal.

### 3. Run Casing/Line Problem (14,5 jam)



**Gambar 4.11 Run Casing/Liner Problem**

Sumber : NPT ResUME Perusahaan

*Run Casing/Liner Problem* adalah NPT kritis ketiga dengan total waktu terbuang 14,5 jam. Insiden ini mengacu pada kegagalan atau kesulitan yang terjadi saat memasukkan pipa selubung (*casing*) atau *liner* ke dalam lubang sumur hingga kedalaman yang telah direncanakan (*setting depth*). Masalah ini dapat dipicu oleh penyempitan lubang, *keyseat*, atau akumulasi *cuttings* yang menghalangi pergerakan *casing*. Mengingat pemasangan *casing* adalah operasi pada Jalur Kritis yang harus sukses untuk menstabilkan formasi, penundaan selama 14,5 jam ini menunjukkan adanya risiko struktural pada sumur dan secara langsung mempengaruhi integritas sumur serta kelanjutan tahapan pengeboran berikutnya.

#### 4.2.2 Pemanfaatan Metode CPM/PERT dalam Pengendalian Waktu Proyek

Masalah NPT yang teridentifikasi di atas menggarisbawahi perlunya pendekatan sistematis dari Teknik Industri untuk mengendalikan waktu proyek dan meminimalisir ketidakpastian. *Critical Path Method* (CPM) dan Program

*Evaluation and Review Technique* (PERT) adalah alat yang relevan untuk tujuan ini:

1. *Critical Path Method (CPM) untuk Determinasi Dampak*

Metode CPM wajib digunakan untuk memetakan alur kerja (seperti Gambar 4.1). Insiden *Stuck Pipe* atau *Equipment Failure* merupakan penambahan waktu langsung pada *Critical Path*. Dengan CPM, manajer proyek dapat:

- a. Mengukur Dampak Sejati: Secara akurat menghitung berapa hari atau jam yang ditambahkan NPT tersebut ke tanggal penyelesaian sumur (*Total Duration*).
- b. Fokus Sumber Daya: Mengidentifikasi bahwa penanganan NPT ini harus diprioritaskan melebihi tugas non-kritis lainnya, karena setiap penundaan semenit pun akan menunda seluruh proyek.

2. *Program Evaluation and Review Technique (PERT) untuk Probabilistik Risiko*

Berbeda dari CPM, PERT sangat relevan karena NPT adalah variabel yang memiliki ketidakpastian durasi (misalnya, berapa lama waktu yang dibutuhkan untuk membebaskan *Stuck Pipe*). Sebagai alat yang berasal dari Teknik Industri, PERT memanfaatkan data historis NPT dari Sumur TPS-A.1 untuk menghitung tiga estimasi waktu:

- a. Waktu Optimis ( $T_o$ ): Waktu terpendek penanganan NPT.
- b. Waktu Paling Mungkin ( $T_m$ ): Waktu yang paling sering terjadi (berdasarkan catatan 7.5 jam *Stuck Pipe*).
- c. Waktu Pesimis ( $T_p$ ): Waktu terlama jika penanganan gagal (berujung *Fishing Job*).

Dengan PERT, *Drilling Program* selanjutnya dapat menggunakan Durasi yang Diharapkan ( $T_s$ ) sebuah estimasi waktu kontingen yang lebih realistik secara probabilistik untuk setiap risiko NPT, yang membantu dalam membuat anggaran waktu proyek yang lebih akurat dan mengurangi risiko *cost overrun* akibat jadwal yang terlalu optimis.

**Table 4.1 Tabel Perbandingan dengan Beberapa Jurnal**

No	Judul Penelitian	Objek Studi	Sebelum Menggunakan CPM/PERT	Sesudah Menggunakan CPM/PERT	Alasan disarankan menggunakan CPM/PERT
1	<i>Minimizing Delay in Construction Project at PT Freeport Indonesia</i> (Penulis : Budi Nuranto Kurniawan dan Nur Budi Mulyono)	Proyek konstruksi pertambangan	Keterlambatan tinggi, jadwal kurang optimal	Meminimalkan keterlambatan, optimasi jadwal	Mengidentifikasi jalur kritis untuk fokus pengelolaan waktu dan mempercepat proyek
2	<i>Scheduling Analysis of Oil Tank Maintenance Project System</i> (Penulis : P. Hanifa, L. Megawati, dan W. Wahidin)	Proyek pemeliharaan tangki minyak	Durasi proyek panjang, risiko keterlambatan	Memperpendek durasi, antisipasi keterlambatan	Mengelola jalur kritis untuk mengurangi durasi dan prediksi risiko penundaan
3	<i>Application of Critical Path Method (CPM) and S-Curve on Scheduling Deep Water Well Pump Construction Project in Sorong, West Papua</i> (Penulis : W. Handayani dan G. A. Ganistian)	Proyek konstruksi pompa sumur	Estimasi waktu belum optimal	Waktu proyek optimal sesuai perencanaan	Memperjelas urutan kegiatan kritis dan mengoptimalkan alokasi sumber daya
4	<i>Implementation of Project Evaluation and Review</i>	Proyek konstruksi bangunan	Perkiraan waktu tunggal kurang	Estimasi waktu dengan 3 variasi	Memperhitungkan ketidakpastian waktu

	<i>Technique (PERT) and Critical Path Method (CPM): A Comparative Study</i> (Penulis : O. U. Cynthia)	rumah	akurat	waktu lebih akurat	dengan estimasi optimis, realistik, pesimis
5	<i>Optimization Of Project Management At Pt. Cipta Ekatama Nusantara Using Cpm/Pert Method In Cendana Sawangan Regency Housing Development</i> (Penulis : Hugo Prabowo, Dr.Muhammad Anhar,Msi.,AK., CA)	Proyek perumahan	Durasi proyek lebih lama	Durasi proyek berkurang secara signifikan	Memberikan probabilitas penyelesaian yang lebih realistik di waktu proyek
6	<i>Cost And Time Scheduling On Performance Of Geothermal Drilling Projects In Olkaria, Nakuru County, Kenya</i> (Penulis : R. E. Kipkoech and M. Yusuf)	Proyek pengeboran geothermal	Manajemen jadwal dan biaya belum optimal	Performa proyek meningkat, penyelesaian tepat waktu	Mengontrol biaya dan waktu untuk menghindari pembengkakan serta keterlambatan
7	<i>PERT and CPM: Their Differences and How to Use Them Together</i> (Studi Kasus by Peter Landau)	Proyek konstruksi dan riset	CPM kurang antisipatif ketidakpastian, PERT kurang kendali	Menggabungkan keunggulan estimasi waktu dan pengendalian biaya	Memanfaatkan kekuatan CPM untuk waktu pasti dan PERT untuk ketidakpastian

			biaya		
8	<i>Analysis Of Project Time And Cost Control With Cpm, Pert And Crashing Project Methods In Shop Building Projects At Cv. Mentari Permai</i> (Penulis : R. Rosalinda, N. Nizmah, S. Ari R, M. Makmur, dan D. Rarasanti)	Proyek teknik umum	Pengendalian waktu dan biaya kurang tepat	Efektif mengendalikan waktu dan biaya proyek	Memastikan proyek selesai tepat waktu sambil mengoptimalkan biaya
9	Analisa Penjadwalan Proyek Menggunakan CPM dan PERT Pada Proyek Pembangunan Gedung KONI Jakarta Pusat (Penulis : M. F. Fauzi, Y. P. A. Rumbyarso, and B. M. Siagian)	Proyek konstruksi gedung	Penjadwalan manual kurang optimal, risiko keterlambatan tinggi	Jalur kritis teridentifikasi, perhitungan durasi proyek lebih akurat	Mengoptimalkan perencanaan dan pengendalian waktu proyek sehingga mengurangi risiko keterlambatan
10	Penerapan Metode Program <i>Evaluation and Review Technique</i> (PERT) Pada Proyek <i>Malang Creative Center</i> (MCC) Berdasarkan <i>Building Information Modelling</i> (BIM) (Penulis : S.	Proyek teknik sipil	Estimasi durasi proyek kurang akurat dan efisien	Durasi proyek lebih akurat, efisiensi meningkat	Memperbaiki akurasi estimasi durasi proyek dengan ketidakpastian tinggi dan meningkatkan efisiensi

	Wahyudiono, F. R. Andardi, Y. Rusdianto, dan R. Awalludiensyah)				
11	Perencanaan Manajemen Proyek Dengan Metode Cpm ( <i>Critical Path Method</i> ) Dan Pert (Program Evaluation And Review Technique) (Penulis : N. M. Astari, A. M. Subagyo, dan Kusnadi)	Proyek pembangunan museum	Jadwal kurang terstruktur	Memperjelas jalur kritis dan durasi proyek	Memperoleh gambaran detil jalur kritis untuk optimasi pelaksanaan
12	Penerapan Metode Pert Dan Cpm Dalam Pelaksanaan Proyek Pembangunan Jalan Paving Untuk Mencapai Efektivitas Waktu Penyelesaian Proyek (Penulis : E. D. Yusdiana and I. Satyawisudarini	Proyek teknik	Durasi dan jalur kritis belum optimal	Durasi proyek dengan jalur kritis teridentifikasi jelas	Mengidentifikasi ketergantungan aktivitas dengan estimasi yang lebih akurat
13	Penerapan Manajemen Proyek Dengan Metode CPM Dan PERT Pada Proyek Pembangunan Perumahan Permata Nusa Indah (Penulis : R. M.	Proyek konstruksi jalan	Estimasi waktu proyek belum tepat	Pengendalian waktu proyek lebih baik	Menjadwalkan aktivitas secara sistematis untuk mengurangi risiko keterlambatan

	Rabbani, A. Muhazir, dan M. Widyantoro				
14	Kajian Metode PERT-CPM dan Pemanfaatannya dalam Manajemen Waktu dan Biaya Pelaksanaan Proyek (Penulis : W. Yuwono, M. E. Kaukab, dan Y. Mahfud)	Proyek konstruksi	Estimasi durasi kasar dan tidak realistik	Durasi proyek lebih realistik dan terkontrol	Mengoptimalkan pemanfaatan sumber daya dan waktu dengan estimasi waktu yang probabilistik
15	STUDI KASUS PENERAPAN METODE PERT PADA PROYEK GUDANG X (Penulis : Christian, Cefiro, and Sentosa)	Proyek teknik sipil	Durasi proyek direncanakan secara kasar	Estimasi durasi dengan probabilitas yang lebih baik	Memperkirakan risiko ketidakpastian dan durasi realistik

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan apa yang telah di amati, di pelajari oleh penulis dalam melaksanakan kerja praktik, penulis mengambil kesimpulan:

1. Selama melaksanakan kegiatan kerja praktik di PT Pertamina *Geothermal Energy* area Lahendong penulis telah mengidentifikasi proses pengeboran sumur yang mencakup:
  - a. Persiapan lokasi
  - b. Pengeboran lubang permukaan (*Surface Hole*)
  - c. Pemasangan dan penyemenan (*Surface Casing*)
  - d. Pengeboran lubang produksi (*Production Hole*)
  - e. Pemasangan dan penyemenan (*Production Casing*)
  - f. Pengeboran lubang *reservoir* ( Hingga Total Depth/TD)
2. Dalam proses pengeboran sumur TPS-A.1 Tompaso, teridentifikasi kegiatan aktivitasnya ternyata didapati kendala yang mempengaruhi kelancaran serta mempengaruhi waktu penyelesaian pengeboran sumur. Non-Productive Time (NPT) diartikan sebagai waktu yang dialokasikan untuk kegiatan non-produktif atau darurat di luar skenario pengeboran terencana. Tiga kategori NPT terbesar (*Top 3 NPT*) yang secara kolektif bertanggung jawab atas mayoritas inefisiensi waktu adalah:
  - 1) *Fishing Operation (66 jam)*.
  - 2) *Wash/Reaming/Backreaming Unplanned (33 jam)*.
  - 3) *Run Casing/Line Problem (14,5 jam)*.
3. Penulis merekomendasikan metode CPM/PERT untuk mengatasi kendala waktu tidak produktif (NPT) selama pengeboran agar proyek lebih efisien berdasarkan ilmu pengetahuan yang di dapat selama perkuliahan.

#### **5.2 Saran**

Saran dari penulis untuk PT Pertamina *Geothermal Energy* Tbk Area Lahendong adalah agar tim operasional tetap bekerja secara efektif dan efisien saat mengebor sumur, sehingga masalah seperti waktu tidak produktif bisa diselesaikan

dengan baik. Ini bisa dilakukan dengan menerapkan metode CPM/PERT setiap kali memeriksa jadwal proyek secara rutin, melatih pencegahan tersangkut pipa dan hilangnya lumpur bor, serta menjaga komunikasi yang baik antar kru lapangan. Sementara itu, saran untuk penulis sendiri ke depan adalah supaya lebih disiplin dan hati-hati dalam mengamati pekerjaan di lapangan serta mencatat data sehari-hari seperti catatan aktivitas untuk pembuatan laporan di masa mendatang.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. H. Purwanto, E. Suwarno, and C. Hakama, "An updated statistic evaluation of drilling performance, drilling cost and well capacity of geothermal fields in Indonesia," *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, vol. 420, no. 1, p. 012011, 2020.
- [2] B. S. Pohan, H. Hartadi, and L. S. Hendrawati, "ANALISIS IDENTIFIKASI BAHAYA, RISIKO DAN PENGENDALIANNYA DI AREA PENGEBORAN (DRILLING) RIG A DENGAN MENGGUNAKAN METODE JOB SAFETY ANALYSYS (JSA) DI PT PTM," *Jurnal Kesehatan Masyarakat Dan Lingkungan Hidup*, vol. 7, no. 1, 2022.
- [3] M. T. Islam, M. N. Nabi, M. A. Arefin, K. Mostakim, F. Rashid, N. M. S. Hassan, S. M. A. Rahman, S. McIntosh, B. J. Mullins, and S. M. Muyeen, "Trends and prospects of geothermal energy as an alternative source of power: A comprehensive review," *Heliyon*, vol. 8, no. 12, p. e11836, Dec. 2022, doi: 10.1016/j.heliyon.2022.e11836.
- [4] D. A. A. Putri and M. Sulhan, "The development of geothermal energy as a renewable power plant," *Journal of Earth Energy Engineering*, vol. 1, no. 1, pp. 1-13, Jun. 2023.
- [5] A. Fauzia and M. N. Makarim, "Strategy of geothermal energy development as a renewable energy source in West Java Indonesia," *Journal of Innovation Materials, Energy, and Sustainable Engineering (JIMESE)*, vol. 2, no. 1, pp. 1-18, Jul. 2024, doi: 10.61511/jimese.v2i1.2024.810.
- [6] L. Lee and A. D. Taleghani, "Looking at Fracture Sealing Mechanisms by Granular LCM at Elevated Temperatures," in *Proceedings, 45th Workshop on Geothermal Reservoir Engineering*, Stanford University, Stanford, California, Feb. 10-12, 2020, SGP-TR-216, pp. 1-13.
- [7] "Geothermal drilling: The ultimate guide," Sino Drills, [Online]. Available: <https://www.sinodrills.com/geothermal-drilling/>
- [8] M. Magzoub, S. Salehi, G. Li, J. Fan, and C. Teodoriu, "Loss circulation

- prevention in geothermal drilling by shape memory polymer," *Geothermics*, vol. 89, p. 101943, Jan. 2021, doi: 10.1016/j.geothermics.2020.101943.
- [9] R. Yang, Z. Huang, G. Li, H. Shi, X. Song, and Y. Shi, "An Integrated Workflow to Design Screen/Slotted Liners in Geothermal Wells," *GRC Transactions*, vol. 41, pp. 1-20, 2017.
  - [10] M.-H. Vu, A.-P. Bois, and A. M. Badalamenti, "Cement Mechanical Integrity for Geothermal Wells," *GRC Transactions*, vol. 44, pp. 1-14, 2020.
  - [11] D. L. Mamrosh, K. E. McIntush, A. Douglas, K. S. Fisher, B. M. Júlíusson, I. Gunnarsson, S. H. Markússon, K. V. Matthíasdóttir, and M. P. Arnarson, "Removal of Hydrogen Sulfide and Recovery of Carbon Dioxide from Geothermal Non-Condensable Gas Using Water," presented at the *GRC Annual Meeting*, Sacramento, California, USA, Oct. 20-23, 2013, GRC-2013-057.
  - [12] R. Yang, Z. Huang, G. Li, H. Shi, X. Song, and Y. Shi, "An integrated workflow to design screen/slotted liners in geothermal wells," *Geothermics*, vol. 72, pp. 277-287, 2018.
  - [13] H. R. Fischer and A. Moghadam, "Testing Various Cement Formulations under Temperature Cycles and Drying Shrinkage for Low-Temperature Geothermal Wells," *Materials*, vol. 16, no. 21, p. 7281, Nov. 2023, doi: 10.3390/ma16217281.
  - [14] E. Kaya and S. J. Zarrouk, "Reinjection of greenhouse gases into geothermal reservoirs," *International Journal of Greenhouse Gas Control*, vol. 67, pp. 111-129, Des. 2017, doi: 10.1016/j.ijggc.2017.10.009.
  - [15] G. Lammers, D. Wong, and J. Lavery, "Successful Tubing Conveyed Perforating Completion Method for Geothermal Project," *GRC Transactions*, vol. 45, pp. 1-13, 2021.
  - [16] R. M. De La Rosa, \textit{Well Control for the Whole Drilling Team}. Houston, TX: Gulf Publishing Company, 2019.
  - [17] K. Johansen and S. Werner, "Something is sustainable in the state of

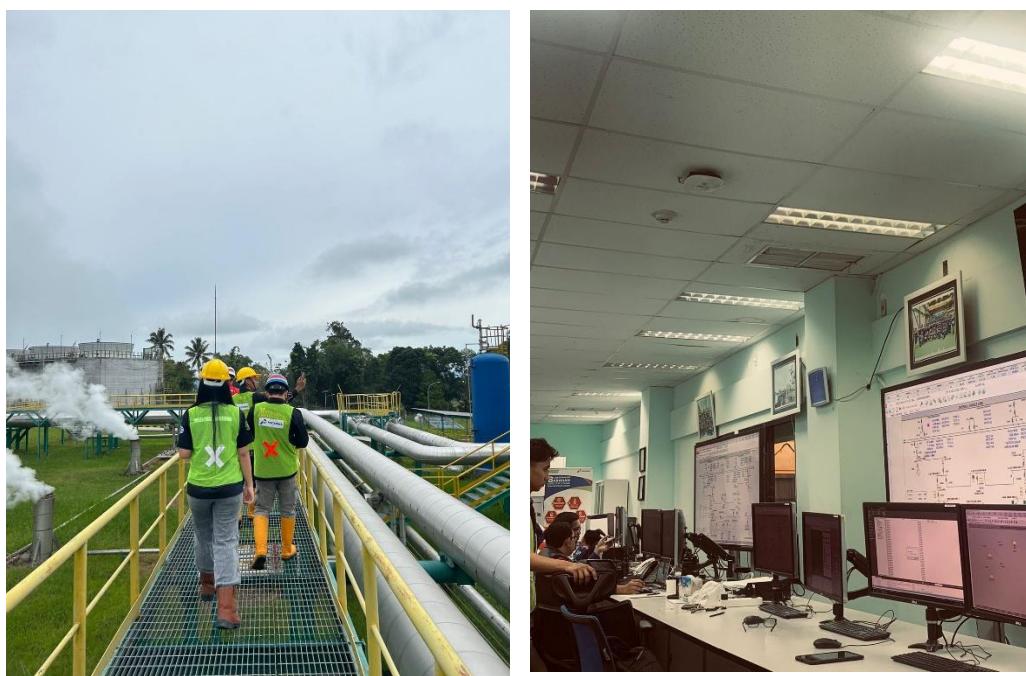
- Denmark: A review of the Danish district heating sector," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 158, p. 112117, Apr. 2022, doi: 10.1016/j.rser.2022.112117.
- [18] H. B. Pratama, M. C. Supijo, and Sutopo, "Experimental design and response surface method in geothermal energy: A comprehensive study in probabilistic resource assessment," *Geothermics*, vol. 87, p. 101869, Sep. 2020, doi: 10.1016/j.geothermics.2020.101869

## LAMPIRAN

### LAMPIRAN A DOKUMENTASI KERJA PRAKTIK



(Dokumentasi Penulis saat turun ke *site operation* unit 1-4 Lahendong)



(Dokumentasi Penulis saat turu ke *site operation* unit 5-6 Tompaso)

SURAT KETERANGAN

Dengan ini menerangkan :

Nama : Tesalonika Oroh  
NIM : 22012006  
Sekolah : Unika De La Salle Manado  
Jurusan : Teknik Industri

Yang bersangkutan telah melaksanakan Kerja Praktik di PT Pertamina Geothermal Energy Tbk Area Lahendong terhitung mulai tanggal 30 June 2025 s/d tanggal 15 August 2025.

Selama melaksanakan Kerja Praktik di PT Pertamina Geothermal Energy Tbk Area Lahendong nama yang tersebut di atas telah menunjukan "**Dedikasi yang baik**".

Demikian surat keterangan ini dibuat agar dipergunakan sebagaimana mestinya

Kamojang, 15 August 2025  
PT Pertamina Geothermal Energy  
Manager Human Capital



David Marito Saragih Turnip

(Surat Keterangan Kerja Praktik)