

**EVALUASI PENGGUNAAN *AERATED DRILLING* DALAM
PENGANGKATAN *CUTTING* PADA ZONA *LOSS*
CIRCULATION SUMUR “V” LAPANGAN PANAS BUMI
SORIK MARAPI**

TUGAS AKHIR

Diajukan guna melengkapi syarat dalam mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh

RIZKA ANANDA

163210244



PROGRAM STUDI TEKNIK PERMINYAKAN

UNIVERSITAS ISLAM RIAU

PEKANBARU

2021

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa tugas akhir ini merupakan karya saya sendiri dan semua sumber yang tercantum di dalamnya baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar sesuai ketentuan. Jika terdapat unsur penipuan atau pemalsuan data maka saya bersedia dicabut gelar yang telah saya peroleh.

Pekanbaru, 19 Agustus 2021



Rizka Ananda

163210244



KATA PENGANTAR

Rasa syukur disampaikan kepada Allah Subhannahu wa Ta'ala karena atas rahmat dan limpahan ilmu dari-Nya saya dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Penulisan tugas akhir ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Perminyakan, Universitas Islam Riau. Saya menyadari bahwa banyak pihak yang telah membantu dan mendorong saya untuk menyelesaikan tugas akhir ini serta memperoleh ilmu pengetahuan selama perkuliahan. Oleh karena itu saya ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Idham Khalid, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk memberikan masukan dalam penyusunan tugas akhir ini.
2. Richa Melyssa, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing akademik yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk memberikan masukan dalam penyusunan tugas akhir ini dan memberikan arahan, nasihat, penyemangat selama menjalani perkuliahan di Teknik Perminyakan.
3. Ketua Prodi Novia Rita, S.T., M.T. dan sekretaris prodi Tomi Erfando, S.T., M.T. serta dosen-dosen yang sangat banyak membantu terkait perkuliahan, ilmu pengetahuan dan hal lain yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu.
4. Kedua orang tua, papa Dadang Suparman dan mama Erli serta ketiga kakak saya Wulan Suci Lestari, Rani Anelda, Ayu Ramadhani dan abang-abang ipar saya atas segala kasih sayang, dukungan moril maupun materil yang selalu diberikan hingga penyelesaian Tugas Akhir ini.
5. Pihak PT. KS ORKA Sorik Marapi *Geothermal Power* (SMGP) yang telah memberikan kesempatan dalam pengambilan data untuk tugas akhir saya.
6. Bapak Afdhal Fikri Nasser dan Bapak Sentanu Reksalegora selaku mentor yang selalu membantu dan membimbing dalam melakukan penelitian tugas akhir ini.
7. Bapak Khrisna Handoyo selaku CDCR dan Ibu Syafia Thurfattaya selaku HRD yang telah membantu dalam proses pengurusan pengajuan TA ke perusahaan KS ORKA Sorik Marapi *Geothermal Power*.

8. Sahabat saya Mayang Firdaus, Wily Rustam, Winnie Yulis Peranti dan Reindy Hidayatul Akbar yang telah banyak memberi saran dan dorongan setiap saya mengalami kesulitan dan masalah dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
9. Seluruh sahabat-sahabat dan teman-teman yang tidak bisa saya sebut satu-satu yang telah memberi semangat kepada saya dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Pekanbaru, 19 Agustus 2021

Penulis



Rizka Ananda



DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR SINGKATAN.....	x
DAFTAR SIMBOL.....	xi
ABSTRAK	xii
<i>ABSTRACT</i>	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 LATAR BELAKANG.....	1
1.2 TUJUAN PENELITIAN	2
1.3 MANFAAT PENELITIAN	3
1.4 BATASAN MASALAH	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 PENGEBORAN PANAS BUMI.....	4
2.2 <i>HOLE CLEANING</i>	5
2.3 <i>LOSS CIRCULATION</i>	6
2.4 <i>AERATED DRILLING</i>	6
2.5 <i>AERATED DRILLING DAN CONVENTIONAL DRILLING</i>	7
2.6 PARAMETER PENGANGKATAN <i>CUTTING</i>	9
2.6.1 <i>Cutting Concentration</i>	9
2.6.2 <i>Transport Cutting Ratio</i>	11
2.6.3 <i>Annular Velocity</i>	11
2.6.4 <i>Net rise velocity</i>	12
2.6.5 <i>Critical slip velocity</i>	12
2.7 <i>STATE OF THE ART</i>	13
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	16
3.1 METODE PENELITIAN	16
3.2 FLOWCHART	17
3.3 TEMPAT PENGAMBILAN DATA.....	18

3.4	JADWAL PENELITIAN	18
3.5	TINJAUAN LAPANGAN	18
3.5.1	Sejarah <i>Sorik Marapi Geothermal Power</i>	19
3.5.2	Struktur Geologi Lapangan Sorik Marapi.....	20
3.5.3	Sorik Marapi <i>Geothermal Well</i>	21
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN PENELITIAN.....		23
5.1	Penggunaan Awal Metode <i>Aerated Drilling</i>	24
5.2	Evaluasi pada sumur V	26
5.3	Optimasi <i>Transport cutting ratio</i> pada sumur V	29
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		32
DAFTAR PUSTAKA		33
LAMPIRAN.....		37



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	<i>Hole Cleaning</i> yang baik	5
Gambar 2.2	Diagram lengkap dari <i>Aerated drilling fluid</i>	7
Gambar 2.3	<i>Aerated drilling</i>	7
Gambar 2.4	<i>Conventional drilling</i>	7
Gambar 3.5	<i>Flow Chart</i>	17
Gambar 3.6	Peta yang menunjukkan lokasi Lapangan panas bumi Sarulla, Sorik Marapi dan Muaralabuh	19
Gambar 3.7	Peta Geologi Kawasan Sorik Marapi	21
Gambar 3.8	Peta wilayah dan lapangan sumur Sorik Marapi dengan manifestasi permukaan wilayah tertentu	22
Gambar 4.9	Grafik Evaluasi <i>Transport Cutting Ratio</i>	30
Gambar 4.10	Grafik Evaluasi <i>Cutting Concentration</i>	31

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Perbandingan <i>aerated drilling</i> dan <i>conventional drilling</i>	8
Tabel 3.2	Data yang diperlukan.....	10
Tabel 3.3	Jadwal Penelitian.....	18
Tabel 4.4	Data <i>Drilling</i>	23
Tabel 4.5	Data <i>loss circulation</i> pada sumur V	24
Tabel 4.6	Hasil Perhitungan Metode <i>Airated Drilling</i> pada Sumur V	25
Tabel 4.7	Hasil perhitungan evaluasi pada sumur V.....	28



DAFTAR SINGKATAN

ROP	<i>Rate of Penetration</i>
RPM	<i>Revolution per Minute</i>
SMGP	<i>Sorik Marapi Geothermal Power</i>



Dokumen ini adalah Arsip Miik :
Perpustakaan Universitas Islam Riau

DAFTAR SIMBOL

aMW	<i>Actual mud weight</i> , ppg
Cc	<i>Cutting concentration</i> , fraksi (%)
D	Kedalaman sumur, ft
Dc	Diameter <i>cutting</i> , in
Dh	Diameter <i>hole</i> , in
D _{op}	Diameter <i>out pipe</i> , in
dMW	<i>Desired mud weight</i> , ppg
Ft	<i>Transport cutting ratio</i> , fraksi (%)
g _g	<i>Gas gravity</i>
Ps	Tekanan permukaan, psia
T	Suhu rata-rata, °F
Ts	Suhu permukaan, °F
Tg	Suhu <i>gradient</i> , °F/100
V _{ann}	<i>Annular velocity</i> , fpm
V _c	Kecepatan kritis, fpm
V _s	<i>Slip velocity</i> , fpm
Q _A	Laju pemompaan udara, scfm
ρ _c	Densitas <i>cutting</i> , ppg
θ	Sudut kemiringan sumur, derajat

**EVALUASI PENGGUNAAN *AERATED DRILLING* DALAM
PENGANGKATAN *CUTTING* PADA ZONA *LOSS CIRCULATION*
SUMUR “V” LAPANGAN PANAS BUMI SORIK MARAPI**

**RIZKA ANANDA
163210244**

ABSTRAK

Melakukan proses pengeboran akan banyak kemungkinan terjadinya kerusakan dan terbentuknya rekahan secara alami pada setiap formasi. *Loss circulation* menyebabkan tidak optimalnya proses pengangkatan *cutting* ke permukaan, yang menyebabkan *cutting* hanya berputar-putar di dasar sumur, jika dibiarkan terus menerus akan berdampak pada *hole cleaning*, *cutting* menumpuk pada dasar sumur yang akan mengakibatkan permasalahan lain yaitu pipa terjepit. Penggunaan metode *aerated drilling* dalam pengeboran dapat menyebabkan tekanan fluida pengeboran menjadi seimbang dengan tekanan formasi, sehingga secara optimal dapat membersihkan sumur dan dapat mengangkat *cutting* ke permukaan. Sumur yang mengalami *loss circulation* yang sebelumnya sudah diterapkan metode *aerated drilling* namun hasilnya belum efisien selanjutnya akan dilakukan evaluasi dan dioptimasi dengan meningkatkan besar laju pemompaan udara dari penggunaan metode *aerated drilling*, dimana kebersihan lubang sumur akan dilihat dari nilai *cutting concentration* (Cc), *Transport cutting ratio* (Ft), *Annular velocity* (Vann), *Net rise velocity* dan *Critical slip velocity* (Vmin) sebagai parameter yang berpengaruh terhadap pengangkatan *cutting* dalam sumur panas bumi. Setelah dilakukan evaluasi pada lapangan panas bumi Sorik Marapi dengan meningkatkan besar laju pemompaan udara, kriteria yang menyatakan pembersihan lubang sumur sudah baik dapat dilihat dari nilai $Vann > Vmin$ yaitu $383.53 \text{ fpm} > 146.19 \text{ fpm}$, $402.39 \text{ fpm} > 148.89 \text{ fpm}$, $373.12 \text{ fpm} > 152.11 \text{ fpm}$ serta *net rise velocity* yang bernilai positif pada masing-masing kedalaman. *Cutting concentration* dikatakan baik jika kadar serpihan di lubang sumur $< 5\%$ dan *Transport cutting ratio* pengangkatan *cutting* dikatakan baik jika $\geq 80\%$ dan bekerja optimal jika $\geq 90\%$, hasil dari evaluasi didapatkan nilai dari Cc memenuhi kriteria yaitu 0.05% , 0.05% dan 0.06% serta Ft bernilai 83% , 84% dan 83% . Namun untuk mendapatkan nilai Ft yang optimal yaitu $\geq 90\%$, perlu dilakukannya optimasi sehingga diketahui besar laju pemompaan udara yang harus ditambahkan yaitu 3315.1 scfm .

Kata Kunci : Sumur Panas Bumi, *Aerated drilling*, *Loss Circulation*, *Hole cleaning*

**EVALUATION OF THE USE OF AERATED DRILLING METHOD IN
LIFTING CUTTINGS IN THE LOSS CIRCULATION ZONE WELL “V”
SORIK MARAPI GEOTHERMAL FIELD**

**RIZKA ANANDA
163210244**

ABSTRACT

Drilling will be a lot of possibilities of damage and natural fractures in each formation. Loss circulation causes the optimal process of cutting lifting to the surface, which causes cutting only swirling at the bottom of the well, if left continuously will have an impact on hole cleaning, cutting accumulates at the bottom of the well that will lead to other problems that are stuck pipe. The use of aerated drilling method in drilling can cause drilling fluid pressure to be balanced with formation pressure, so that it can optimally clean the well and can lift cutting to the surface. Wells that have experienced loss circulation that has previously been applied aerated drilling method but the results are not efficient, then will be evaluated and optimized by increasing the rate of air pumping from the use of aerated drilling method, where the cleanliness of the well hole will be seen from the value of cutting concentration (Cc), Transport cutting ratio (Ft), Annular velocity (Vann), Net rise velocity and Critical slip velocity (Vmin) as parameters that affect cutting in geothermal wells. After evaluation at the Sorik Marapi geothermal field by increasing the rate of air pumping, the criteria that stated that the cleaning of the well hole is good can be seen from the value of $Vann > Vmin$ which is $383.53 \text{ fpm} > 146.19 \text{ fpm}$, $402.39 \text{ fpm} > 148.89 \text{ fpm}$, $373.12 \text{ fpm} > 152.11 \text{ fpm}$ and net rise velocity of positive value at each depth. Cutting concentration is said to be good if the level of flakes in the well hole $< 5\%$ and Transport cutting ratio cutting is said to be good if $\geq 80\%$ and works optimally if $\geq 90\%$, the results from the evaluation obtained values from Cc meet the criteria of 0.05% , 0.05% and 0.06% and Ft worth 83% , 84% and 83% . But to get the optimal Ft value of $\geq 90\%$, optimization is necessary so that it is known the large rate of air pumping that must be added is 3315.1 scfm .

Keywords : *Geothermal well, Aerated drilling, Loss Circulation, Hole cleaning*

BAB I PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Lapangan Sorik Marapi merupakan salah satu lapangan panas bumi yang sedang aktif beroperasi di Indonesia hingga saat ini. Berlokasi di Mandailing Natal, Sumatera Utara, merupakan saham PT SMGP yang diakuisisi oleh KS ORKA *Renewables Pte Ltd* pada tahun 2016. Daerah *thermal* berada di dalam zona depresi yang merupakan bagian dari cekungan tarik yang disebabkan oleh perpindahan sesar Sumatera, yang mana dengan besarnya panas dan massa yang dilepaskan pada fitur ini merupakan indikasi kuat dari sumber daya suhu tinggi. Pengeboran yang dilakukan hingga mencapai kedalaman 2100 m sering ditemukannya permasalahan *loss circulation* di beberapa titik kedalaman. Zona rekah atau patahan dari panas bumi kebanyakan mempunyai tekanan yang rendah atau dibawah normal dengan kondisi suhu yang tinggi yaitu besar dari 225°C, sehingga pada proses pengeboran berlangsung resiko terjadinya *loss circulation* tinggi. Salah satunya permasalahan *partial loss circulation* di sumur V lapangan panas bumi Sorik Marapi yang terjadi pada trayek 12¹/₄ di kedalaman 1855 m sampai 1921 m. Pengeboran yang dilakukan pada sumur panas bumi mempunyai proses yang tidak jauh berbeda dari pengeboran yang dilakukan pada sumur minyak dan gas bumi. Pada dasarnya tahapan proses, alat, teknologi dan ahli pengeboran dari keduanya tetap sama, namun yang membedakan keduanya yaitu dalam hal suhu dan permasalahan *loss circulation*. Rekahan ataupun patahan memang menjadi target utama dari pengeboran panas bumi, dimana menjadi penghubung ke sumber panas bumi. Namun jika rekahan muncul pada saat pengeboran berlangsung sebelum mencapai target kedalaman yang ditentukan akan berdampak negatif pada proses pengeboran, dikarenakan lumpur yang seharusnya kembali ke permukaan alih-alih akan masuk ke rekahan sehingga proses pengangkatan *cutting* menjadi terganggu yang menyebabkan *cutting* menjadi tidak terangkat dan menumpuk pada bagian dasar sumur (Nouban & Abazid, 2017).

Underbalance drilling merupakan suatu teknik yang sengaja dirancang dimana tekanan yang dihasilkan oleh fluida pengeboran lebih kecil dari pada *pore pressure* dari batuan. Metode yang paling umum dilakukan yaitu *Aerated Drilling*, dimana pengeboran dengan menggunakan tambahan komponen lain seperti udara, *aerated mud*, *inhibitor* dan *foam* (Nugroho et al., 2017).

Aerated drilling fluid merupakan metode pengeboran yang digunakan pada lapangan panas bumi dengan menambahkan udara yang dikompres pada fluida pengeboran dengan tujuan mengurangi densitas fluida (Hole, 2008). Teknik ini digunakan pada kondisi formasi dengan tekanan yang tidak normal serta tingginya zona rekah yang dapat menyebabkan terjadinya permasalahan-permasalahan pada lubang sumur sehingga dapat berakibat merusak formasi dan menurunkan produktivitas sumur. *Aerated drilling fluid* membantu dalam mengangkat sisa *cutting* sehingga sampai saat proses produksi nantinya zona rekah tetap terbuka dan bersih (Haryadi et al., 2019).

Oleh karena itu, peneliti akan melakukan evaluasi dengan menggunakan metode *aerated drilling fluid* untuk mendapatkan kondisi lubang sumur yang bersih dan mengatasi permasalahan-permasalahan yang terjadi pada lubang sumur selama proses pengeboran berlangsung. Dengan menghitung *cutting concentration*, *transport cutting ratio*, *annular velocity*, *net rise velocity* dan *critical slip velocity*, sehingga dapat mengetahui besar laju pemompaan udara yang akan dikompresikan pada fluida pengeboran untuk mampu mengangkat *cutting* permukaan secara optimal.

1.2 TUJUAN PENELITIAN

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menghitung nilai parameter *hole cleaning* pada zona *loss circulation* yang telah digunakan di sumur V lapangan panas bumi Sorik Marapi dengan menggunakan metode *aerated drilling*.
2. Mengevaluasi nilai parameter *hole cleaning* sesudah peningkatan besar laju pemompaan udara dengan penggunaan metode *aerated drilling* terhadap pengangkatan *cutting* dalam sumur panas bumi pada zona *loss circulation*.

3. Mengoptimasi nilai dari *transport cutting ratio* untuk mendapatkan hasil yang lebih optimal dalam pengangkatan *cutting* ke permukaan.

1.3 MANFAAT PENELITIAN

Manfaat dari penelitian ini adalah meminimalisir akibat yang akan terjadi pada lubang sumur dikarenakan permasalahan *loss circulation* dan *hole cleaning* yang kurang baik, dan apabila diabaikan akan menyebabkan kerusakan formasi, menurunkan produktivitas selama proses pengeboran berlangsung dan permasalahan lainnya.

1.4 BATASAN MASALAH

Agar mendapatkan hasil penelitian yang tidak keluar dari tujuan penelitian dan lebih terarah, maka dalam penelitian ini ditentukan batasan masalah, meliputi:

1. Membahas parameter-parameter yang berpengaruh terhadap pengangkatan *cutting* pada zona produksi yang mengalami *loss circulation*, diantaranya *cutting concentration* (C_c), *Transport cutting ratio* (F_t), *Annular velocity* (V_{ann}), *Net rise velocity* dan *Critical slip velocity* (V_{min}).
2. Penelitian yang dilakukan mengikuti kondisi sumur panas bumi “V” lapangan Sorik Marapi.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pemanfaatan sumber daya alam sudah banyak Allah Subhanahu wata'ala firmankan dalam Al-Quran dan Hadist, seperti yang terdapat dalam surat Al'Raf ayat 58 dan surat Yasin ayat 34-35, yang menyatakan bahwa Allah Subhanahu wata'ala menciptakan bumi (tanah) untuk dimanfaatkan bagi manusia dan makhluk hidup yang lainnya. Begitu juga dengan hadist Rasulullah shallallahu 'alaihi wasallam yang diriwayatkan oleh Abu Dawud, menyatakan bahwa "*barang siapa yang menghidupkan sebidang tanah yang mati, maka tanah itu menjadi miliknya, dan apabila diambil oleh para pencari rezeki, maka itu adalah sedekah baginya*" (Efendi, 2011).

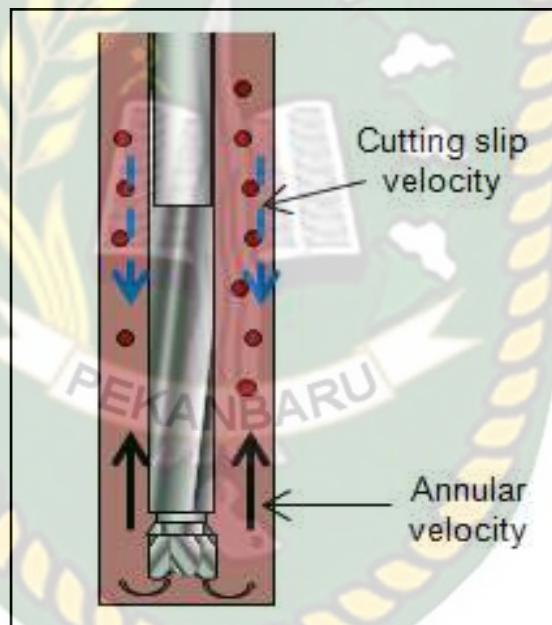
2.1 PENGEBORAN PANAS BUMI

Energi panas bumi yaitu energi yang telah terbukti bisa diperbaharui dan dimanfaatkan dalam jangka waktu yang lama, dimana energi panas bumi ini terkandung di bawah permukaan bumi yang terakumulasi di dalam rekah batuan dan di fluida (Saptadji, 2018). Pada saat tekanan formasi jauh lebih kecil dibandingkan tekanan hidrostatik dari lumpur yang digunakan menyebabkan formasi pecah dan fluida pengeboran akan hilang dan masuk ke formasi (Nouban & Abazid, 2017).

Menurut Nur dalam (Budi & Adi, 2008) operasi pengeboran panas bumi harus tahan akan suhu tinggi dari panas bumi yang rata-rata berkisar 200-350°C. Suhu tinggi dapat mempengaruhi karakteristik dan rheologi dari fluida pengeboran, dimana seiring meningkatnya suhu fluida pengeboran, maka viskositas menjadi semakin menurun. Patahan dari panas bumi kebanyakan mempunyai tekanan yang rendah atau dibawah normal dengan kondisi suhu yang tinggi yaitu besar dari 225°C, dimana memungkinkan akan terjadinya permasalahan *loss circulation* (Dwinanto & Rachmat, 2014). Permasalahan lainnya yaitu ketika rendahnya kecepatan udara di *annular* maka akan terjadi *choking* dimana *cutting* tidak bergerak dan tidak keluar dari lubang sumur yang akan menyebabkan meningkatnya tekanan kompresor (RW. Watson, 1997).

2.2 HOLE CLEANING

Hole cleaning merupakan hal utama pada tahap desain fluida dan pengoperasian pengeboran. Proses pembersihan yang tidak efektif menyebabkan beberapa permasalahan serius pada proses pengeboran seperti terjadinya *stuck pipe*, peningkatan torsi dan *drag*, kesulitan saat melakukan *running*, saat penyemenan *casing* dan *logging*. Untuk menghindari permasalahan-permasalahan tersebut, *cutting* pada lubang sumur harus dikeluarkan dengan menggunakan fluida pengeboran (Ozbayoglu et al., 2010) (Bizhani et al., 2016). Fluida pengeboran tersebut harus memiliki viskositas, densitas dan kecepatan aliran yang tepat dalam pengangkutan *cutting* ke permukaan (Dayan, 2014).



Gambar 2.1 *Hole Cleaning* yang baik (DrillingFormulas, 2011)

Pengeboran untuk panas bumi saat ini mempunyai 4 jenis fluida pengeboran yaitu pengeboran menggunakan *water based mud* (*bentonite* dan polimer), menggunakan air saja, menggunakan air atau lumpur aerasi, dan dengan menggunakan udara serta *foam*. Fluida yang digunakan pada pengeboran panas bumi mirip dengan fluida yang digunakan pada pengeboran minyak dan gas bumi, namun fluida pengeboran panas bumi dibuat jauh lebih sederhana, dimana bahan kimia ditambahkan dengan tingkat yang berbeda (Chemwotei, 2011).

2.3 LOSS CIRCULATION

Loss Circulation adalah hilangnya beberapa atau keseluruhan fluida pengeboran kedalam rekahan atau patahan pada formasi disebabkan oleh tekanan lubang sumur yang terlalu tinggi sehingga melebihi tekanan rekah formasi (Lake, 2006). *Loss circulation* dapat dikategorikan menjadi 3 jenis yaitu, *seepage loss* adalah hilangnya lumpur dengan jumlah yang relative kecil sekitar kurang lebih 30 bbl/jam pada saat dilakukannya sirkulasi lumpur, *partial loss* adalah hilangnya lumpur dalam jumlah yang relatif besar kurang lebih 30 bbl/jam hingga 60 bbl/jam, *total loss* adalah hilangnya lumpur dalam jumlah besar lebih dari 60 bbl/jam yang dilihat dengan tidak adanya lumpur yang kembali kepermukaan (Steve, 2012).

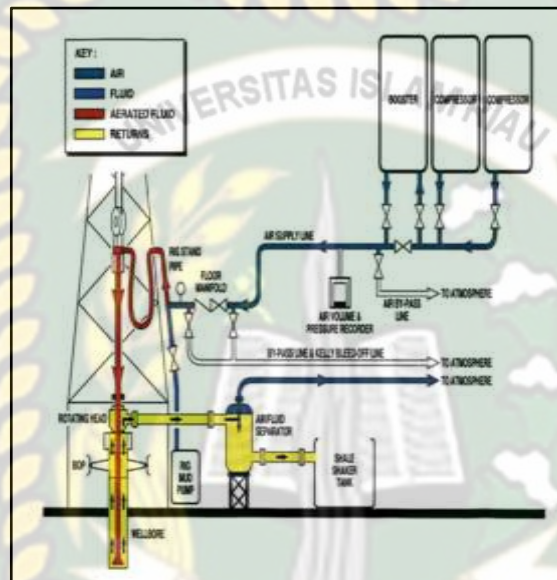
Loss circulation pada saat pengeboran dapat ditandai dengan berkurangnya *pump pressure*, analisa *cutting*, meningkatnya suhu pada *flowline*, meningkatnya aliran lumpur di *flowline*, berkurangnya aliran lumpur yang kembali ke permukaan serta berkurangnya secara besar volume lumpur pada tangki lumpur.

2.4 AERATED DRILLING

Menurut Weatherford dalam (Nas et al., 2010) penggunaan udara, lumpur aerasi atau *foam* mempunyai tujuan untuk mengurangi besar biaya pengeboran dengan cepat. *Aerated drilling* merupakan suatu teknik pengeboran menggunakan konsep *underbalance* yang mengkondisikan lubang sumur dengan tekanan hidrostatik yang lebih rendah dibandingkan formasi (Malik, 2012). Istilah *aerated fluid* diwujudkan sebagai fluida pengeboran yang dipompakan bersama udara termampatkan atau bersama gas lainnya sehingga densitas fluida pengeboran akan berkurang dan lebih kecil dari pada fluida pengeboran konvensional. *Aerated fluid* dapat digunakan untuk mengebor lubang sumur yang dangkal maupun yang dalam, namun dalam kasus lapangan, penggunaan *aerated fluid* digunakan pada zona *loss* di zona produksi (Lysons, 2009). *Aerated drilling* merupakan metode yang diterapkan pada sumur panas bumi ketika terjadinya *partial loss* maupun *total loss* saat sirkulasi berlangsung (Ramos, 2012).

Dalam mengatasi permasalahan pengeboran dan meningkatkan produksi, penggunaan *aerated fluid* pada pengeboran panas bumi merupakan teknik yang tepat untuk digunakan (Russel, 1987). Dengan mencampurkan udara beserta *foam*

ke dalam lumpur pengeboran dapat menciptakan adanya gelembung pada lumpur. *Foam* berfungsi sebagai aditif yang mempunyai kemampuan dalam mempererat ikatan antara lumpur dan udara yang bekerja menahan gelembung dalam suspensi serta membantu dalam proses pengangkatan *cutting*. Dengan sifat ketegangan gelembung terhadap lumpur pengeboran dan batuan menyebabkan gelembung mengarah mengisi lubang pori dan rekahan pada dinding sumur (Lin, 2018) (Toni et al., 2016).



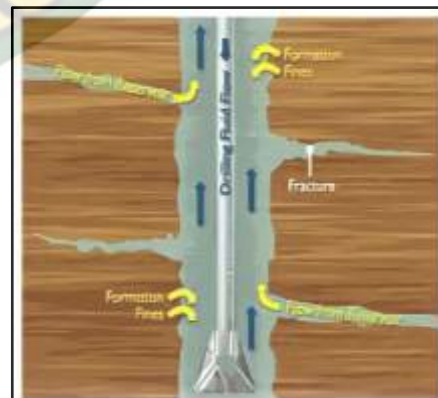
Gambar 2.2 Diagram lengkap dari *Aerated drilling fluid* (Lin, 2018)

2.5 AERATED DRILLING DAN CONVENTIONAL DRILLING

Berikut dapat dilihat pada gambar perbedaan dari pengeboran yang dilakukan dengan menggunakan metode *aerated drilling* dan pengeboran secara *conventional*



Gambar 2.3 *Conventional drilling* (Brahmantyo, 2016)



Gambar 2.4 *Aerated drilling* (Brahmantyo, 2016)

Tabel 2.1 Perbandingan *aerated drilling* dan *conventional drilling*

	<i>Aerated drilling</i>	<i>Conventional drilling</i>
Kerusakan Formasi	Mengurangi terjadinya kerusakan formasi dikarenakan keadaan tekanan sumur kecil dari tekanan formasi sehingga fluida pengeboran dan <i>cutting</i> tidak masuk dalam formasi.	Menyebabkan kerusakan formasi dimana jika terjadi <i>loss circulation</i> pada zona produksi, sehingga fluida pengeboran dan <i>cutting</i> akan masuk ke formasi dan memblokir permeabilitas.
<i>Loss Circulation</i>	<i>Aerated drilling</i> mempunyai densitas lebih kecil dari pada air yang dapat bekerja efektif menangani <i>loss circulation</i> , bahkan ketika tekanan formasi yang rendah, masih memiliki kemungkinan untuk <i>cutting</i> kembali ke permukaan.	Ketika terjadinya <i>loss circulation</i> , pengeboran dengan menggunakan lumpur diganti dengan hanya menggunakan air (<i>blind drilling</i>) dimana <i>cutting</i> tidak kembali ke permukaan sehingga menyebabkan <i>hole cleaning</i> yang buruk.
<i>Annular Velocity</i>	<i>Aerated drilling</i> membutuhkan kecepatan alir fluida di <i>annular</i> yang tinggi untuk dapat mengangkat <i>cutting</i> .	Dengan kecepatan alir fluida di <i>annular</i> yang rendah, lumpur dapat mengangkat <i>cutting</i> .
<i>Rate of Penetration</i>	Pengeboran menggunakan Teknik <i>underbalanced drilling</i> dapat meningkatkan laju penembusan pahat pengeboran (ROP).	Tingkat laju penembusan pahat pengeboran lebih rendah dibandingkan pengeboran menggunakan Teknik <i>underbalanced drilling</i> .
Peralatan tambahan	Kompresor udara dan <i>booster</i> untuk memampatkan udara, <i>mist pump</i> , <i>separator</i> , <i>float valve</i> dan lainnya.	Tangki lumpur, <i>hopper</i> , <i>mud pump</i> .

Volume air yang dibutuhkan	Pengeboran ini tidak menggunakan air yang banyak karena sedikitnya air yang akan hilang ke formasi dan air yang balik ke permukaan dapat digunakan kembali.	Membutuhkan lebih banyak air pada saat dilakukannya pengeboran lapangan panas bumi dan pengeboran <i>blind drilling</i> dikarenakan terjadinya permasalahan <i>loss circulation</i> .
Komponen fluida pengeboran	Air, udara (78% nitrogen, 21% oksigen dan 1% gas lainnya seperti argon, neon dan lain-lain), <i>foam</i> , <i>inhibitor</i> dan larutan kimia lainnya.	Air, <i>bentonite</i> , aditif tergantung pada kondisi <i>bottom hole</i> .
Biaya	Biaya sewa harian kompresor, <i>booster</i> dan bahan bakar.	Biaya dari fluida pengeboran

Sumber : Putra (2008)

2.6 PARAMETER PENGANGKATAN *CUTTING*

Mengetahui keefektifitas dari pengangkatan *cutting* di sumur panas bumi dapat dilihat dari nilai parameter-parameternya seperti *cutting concentration* (C_c), *transport cutting ratio* (F_t), *Annular velocity* (V_{ann}), *Net rise velocity* dan *Critical slip velocity* (V_{min}). Untuk mendapatkan nilai dari parameter-parameter tersebut dapat ditentukan dengan menggunakan beberapa rumus sebagai berikut:

2.6.1 *Cutting Concentration*

Cutting concentration merupakan kadar dari serpihan yang terdapat dalam *annular* yang merupakan parameter penting untuk menentukan kondisi *cutting* di lubang sumur. Nilai dari *cutting concentration* tidak boleh melebihi dari 5% , yang akan menyebabkan beberapa permasalahan seperti terjadinya *stuck pipe*, penurunan laju penetrasi, peningkatan torsi dan *drag* serta lain sebagainya (Jodi & Ginting, 2015). Menghitung nilai dari *cutting concentration* dapat menggunakan persamaan sebagai berikut (Dharmaputra, 2018) :

$$Cc = \frac{ROP \times Dh^2}{14.7 \times Ft \times QA} \quad (1)$$

Keterangan : Cc = *Cutting concentration* (%)
 ROP = *Rate of Penetration* (ft/hr)
 Dh = *Diameter hole* (in)
 Ft = *Transport Cutting Ratio* (%)
 QA = Laju pemompaan udara (scfm)

Jika nilai yang didapatkan dari *cutting concentration* melebihi 5%, tindakan yang dapat dilakukan yaitu dengan meningkatkan laju alir lumpur atau dengan meningkatkan *transport cutting ratio*. Selain itu nilai *cutting concentration* juga dipengaruhi oleh *rate of penetration*.

Mencari besar laju pemompaan udara (QA)

$$Q_A = \frac{(42 \times D \times aMW - 808(0.052 \times D \times dMW + 14.7 - P_s))}{4.071 \times (T + 460) \ln\left(\frac{0.052 \times D \times g_g + 14.7}{P_s}\right) - 0.0764 \times D \times g_g} \quad (2)$$

Keterangan : Q_A = Laju pemompaan udara (scf/bpm)
 D = Kedalaman sumur (ft)
 aMW = *Actual mud weight* (ppg)
 dMW = *Desired mud weight* (ppg)
 Ps = Tekanan permukaan (psia)
 T = Suhu rata-rata (°F)
 g_g = *Gas gravity*

Untuk mendapatkan suhu rata-rata dapat dicari dengan rumus sebagai berikut:

$$T = \frac{T_s + D \times \frac{T_g}{100} + T_s}{2} \quad (3)$$

Keterangan : T = Suhu rata-rata (°F)
 Ts = Suhu permukaan (°F)
 Tg = Suhu *gradient* (°F/100)

Hasil besar laju pemompaan udara per *barrel* lumpur dikonversi kedalam satuan scfm (*standart cubic ft per minute*). Maka :

$$Q_A(\text{scfm}) = \frac{Q_1}{42} \times Q_A(\text{scf/bpm}) \quad (4)$$

Keterangan : Q_1 = Laju lumpur dasar (gpm)

2.6.2 Transport Cutting Ratio

Transport cutting ratio (Ft) merupakan persentase dari kemampuan fluida sirkulasi dalam mengangkat *cutting* ke permukaan. Jika nilai *transport cutting ratio* didapatkan $\geq 80\%$, sudah dipastikan *cutting* secara baik naik ke permukaan. Namun untuk mendapatkan pengangkatan *cutting* secara optimum nilai dari *transport cutting ratio* harus $\geq 90\%$ (Jodi & Ginting, 2015). Untuk memperoleh nilai *transport cutting ratio* dapat dihitung menggunakan persamaan dibawah ini (Kusumawardani, Kustono, & Pudyastuti, 2015) :

$$Ft = \frac{V_{ann} - V_s}{V_{ann}} \times 100\% \quad (5)$$

Keterangan : Ft = *Transport Cutting Ratio* (%)

V_{ann} = *Annular velocity* (fpm)

V_s = *Slip velocity* (fpm)

Dengan meningkatkan *cutting transport ratio* dapat menurunkan nilai dari *cutting concentration* di *annular*. Jika nilai dari *transport cutting ratio* dapat mencapai 100%, namun untuk nilai dari *cutting concentration* tidak akan didapatkan 0% selama *penetration rate* masih berlangsung (Dharmaputra, 2018).

2.6.3 Annular Velocity

Annular velocity atau kecepatan lumpur di *annular* dapat dipengaruhi oleh tiga faktor utama yaitu laju pompa, ukuran lubang (ID lebih besar) dan ukuran pipa bor (OD lebih kecil). Untuk menghitung nilai dari *annular velocity* dapat menggunakan rumus sebagai berikut (Moore, 1986) (Kusumawardani et al., 2015) :

$$V_{ann} = \frac{24.51 \times QA}{D_h^2 - D_{op}^2} \quad (6)$$

Keterangan : V_{ann} = *Annular velocity* (fpm)

QA = Laju aliran lumpur (gpm)

D_h = *Diameter hole* (in)

D_{op} = *Diameter out pipe* (in)

2.6.4 Net rise velocity

Untuk mendapatkan nilai dari *net rise velocity* dapat menggunakan rumus sebagai berikut (DrillingFormulas, 2011) :

$$\text{Net rise velocity} = V_{ann} - V_s \quad (7)$$

Jika *net rise velocity* bernilai positif, menandakan bahwa laju aliran fluida bekerja baik dalam mengangkat *cutting* di lubang sumur.

Slip Velocity

Untuk mendapatkan nilai *slip velocity* (V_s) dapat menggunakan rumus sebagai berikut (Haryadi, Suherman, 2019)(Kusumawardani et al., 2015) ;

$$V_s = 92.6 \times \sqrt{dc \left(\frac{\rho_c - \rho_A}{\rho_A} \right)} \quad (8)$$

Keterangan : ρ_c = Densitas *cutting* (ppg)
 ρ_A = Densitas *aerasi* (ppg)
 dc = Diameter *cutting* (in)

2.6.5 Critical slip velocity

Critical slip velocity merupakan kecepatan lumpur minimum yang bertujuan mengangkat *cutting* ke permukaan tanpa terjadinya pengikisan lubang sumur kembali (Fadjri, 2011). Pembersihan lubang sumur dikatakan baik jika *annular velocity* lebih besar dari pada kecepatan lumpur minimum ($V_{ann} > V_{min}$). Dengan menggunakan metode Rudi Rubiandini, kecepatan lumpur minimum di *annular* dalam pengangkatan *cutting* dapat menggunakan rumus sebagai berikut (Kusumawardani et al., 2015) :

Untuk $\theta \leq 45^\circ$

$$V_{min} = V_c + \left[1 + \frac{\theta(600-RPM) \times (3+\rho_l)}{202500} \right] \times V_s \quad (9)$$

Untuk $\theta \geq 45^\circ$

$$V_{min} = V_c + \left[1 + \frac{(600-RPM) \times (3+\rho_l)}{4500} \right] \times V_s \quad (10)$$

Memperoleh nilai V_c dan V_{ann} dapat dicari dengan rumus sebagai berikut:

$$V_c = \frac{ROP}{60 \times C_c} \quad (11)$$

- Keterangan :
- θ = Sudut kemiringan sumur (derjat)
 - V_c = Kecepatan kritis (fpm)
 - C_c = Konsentrasi kritis
 - ρ_l = Densitas lumpur (ppg)

2.7 STATE OF THE ART

Penelitian yang dilakukan oleh (Kusumawardani et al., 2015) penggunaan *aerated drilling* pada trayek 17^{1/2}“, 12^{1/4}“, 9^{5/8}“ pada sumur N lapangan panas bumi K, didapatkan nilai evaluasi dari *cutting concentration* dari ketiga trayek kecil dari 4% yaitu 0.92%, 1.38%, dan 0.80%, kemudian didapatkan juga nilai optimasinya 0.0025%, 0.0050%, 0.0010%. Untuk nilai dari *transport cutting ratio* besar dari 80% yaitu 80.1%, 94.2%, 97.5%, dan nilai optimasinya yaitu 91.4%, 95.8%, 98.0%. Pada sumur ini juga menunjukkan kecepatan alir fluida di *annular* lebih besar dari pada kecepatan minimum pengangkatan *cutting* ($V_{ann} > V_{min}$), untuk nilai yang didapatkan dari masing-masing ketiga trayek yaitu 182.3 fpm > 96.8 fpm dengan hasil optimasinya 182.4 fpm > 162 fpm, 205.1 fpm > 79.2 fpm dengan hasil optimasinya 205.1 fpm > 170.4 fpm, dan 373 fpm > 49.7 fpm dengan hasil optimasinya 373 fpm > 277.3 fpm, yang dapat diartikan bahwa pengangkatan *cutting* pada sumur N sudah cukup baik.

Penelitian yang dilakukan oleh (Bumi & Pstream, 2015) penggunaan *aerated drilling* disumur Dindra lapangan panas bumi BPA-08 dilakukan pada trayek 17^{1/2}“, 12^{1/4}“ yang mengalami *partial loss* dan *total loss* didapatkan hasil yang tidak optimal yaitu nilai dari *annular velocity* kecil dari nilai kecepatan minimum dan *slip velocity* ($V_s > V_{ann} < V_{min}$) yaitu masing-masing 566.138 fpm > 145.824 fpm < 638.448 fpm, dan 340.797 fpm > 189.904 fpm < 486.316 fpm, sehingga dilakukan optimasi dengan meningkatkan volume pemompaan udara dan laju alir lumpur, didapatkan hasil ($V_s < V_{ann} > V_{min}$) yaitu masing-masing 211.989 fpm < 275.223 fpm > 232.532 fpm dan 91.805 fpm < 297.017 fpm > 105.541 fpm.

Penelitian yang dilakukan oleh (Jodi & Ginting, 2015) tidak optimalnya pengangkatan *cutting* pada pengeboran sumur K lapangan N trayek $12\frac{1}{4}$ “ dengan *flow rate* 700 gpm. Dimana hasil perhitungan dari *cutting concentration* yang didapat dibagian *casing drillpipe* sebesar 0.85%, dibagian *annular drillpipe* 0.80% dan dibagian *annular drillcollar* 0.77% yang menunjukkan konsentrasi *cutting* sudah baik, namun nilai *transport cutting ratio* menunjukkan nilai dibawah 90% di ketiga bagian tersebut. Maka dilakukan optimasi peningkatan *flow rate* menjadi 970 gpm, sehingga didapatkan peningkatan nilai *transport cutting ratio* menjadi 90.08% dibagian *casing drillpipe*, 90.58% dibagian *annular drillpipe*, dan 92.56% dibagian *annular drillcollar*. Kenaikan dari *flowrate* ini juga mempengaruhi nilai dari *cutting concentration*, dimana juga mengalami penurunan yang berarti konsentrasi dari *cutting* semakin baik.

Penelitian yang dilakukan oleh (Pradana, 2016) pada trayek $12\frac{1}{4}$ “ perencanaan pemompaan pada 800 gpm dan 1500 scfm dihasilkan nilai *cutting concentration* sebesar 0.4% dan nilai *transport cutting ratio* kisaran 70 – 90%. dan pada trayek $9\frac{7}{8}$ “ perencanaan pemompaan pada 900gpm dan 1500 scfm dihasilkan nilai *cutting concentration* sebesar 0.3% dan nilai *transport cutting ratio* kisaran 70 – 95%.

Penelitian yang dilakukan oleh (Martasari, Yoga, & Aditya, 2017) menganalisis *pressure window* pada pengeboran sumur panas bumi dengan kedalaman zona rekah diperkirakan pada 1500 meter. Pengoperasian *aerated drilling* berupa lumpur berisi air dan udara yang digunakan untuk meminimalisir permasalahan yang terjadi selama proses pengangkatan *cutting* dilakukan. Dengan menaikkan laju alir udara, dapat dilihat dari nilai *transport cutting ratio* mengalami kenaikan sebesar 5%, dari 90% menjadi 95% dan menurunkan nilai *cutting concentration* sebesar 0.1%, dari 0.4% menjadi 0.3%. Dengan demikian *aerated drilling* dinilai mampu bekerja dengan baik dalam pengangkatan *cutting* pada pengeboran *reservoir* rekah panas bumi tersebut.

Penelitian yang dilakukan oleh (Haryadi, Suherman, 2019) menghasilkan evaluasi laju alir fluida aerasi dinilai sudah memenuhi kriteria dari *cutting concentration* yaitu bernilai dibawah 5% dimana saat sirkulasi keadaan lubang sumur sudah bersih dari *cutting*. Untuk nilai *transport cutting ratio* didapatkan nilai

berkisar 71-77% yang mana tidak memenuhi kriteria yaitu nilai seharusnya diatas 80%, dimana pada kondisi ini proses pengangkatan *cutting* belum optimal. Oleh karena itu dilakukan nilai koreksi untuk mencapai kriteria tersebut dengan besar injeksi udara minimal 1353 scfm dengan nilai kecepatan *annular* minimal sebesar 265 fpm.



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 METODE PENELITIAN

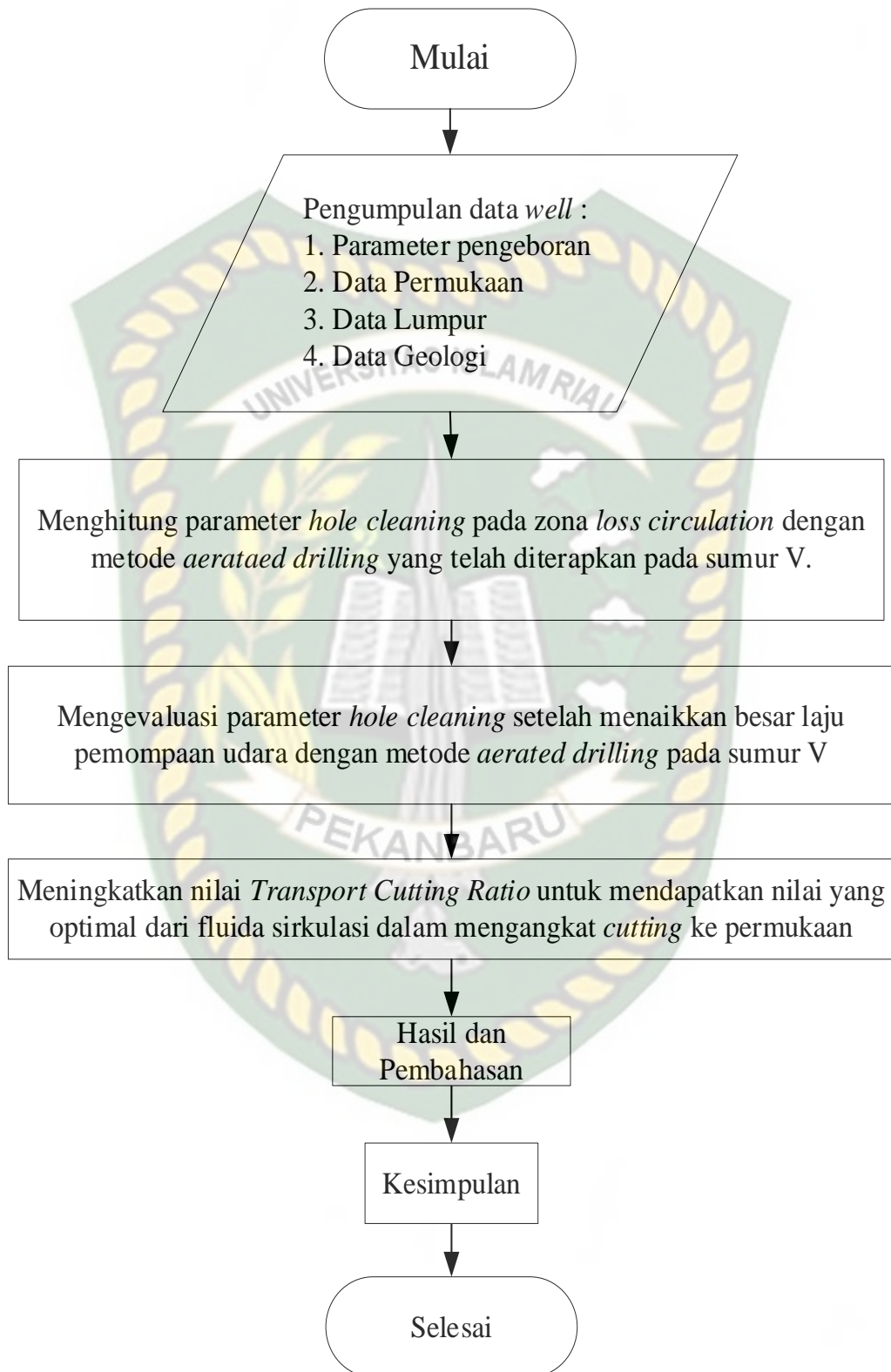
Metode dari penelitian ini adalah dengan melakukan penelitian di lapangan Sorik Marapi dengan mengumpulkan data-data yang diperlukan. Data yang digunakan merupakan data sekunder serta teori dari literatur yang berhubungan dengan topik penelitian berupa buku-buku, dan jurnal yang relevan.

Dalam menghitung nilai dari parameter-parameter *hole cleaning* diperlukan beberapa data lapangan yang didapat dari proses pengeboran tersebut, diantaranya

Tabel 3.2 Data yang diperlukan

No	Data	Jenis Data
1	Data Parameter Pengeboran	<i>Rate of Penetration</i> (ROP) <i>Revolution per Minute</i> (RPM)
2	Data Lumpur	Laju alir lumpur dasar <i>Actual mud weight</i> <i>Desired mud weight</i>
3	Data Geologi	Densitas <i>cutting</i> Diameter <i>cutting</i>
4	Data <i>surface</i>	Tekanan Permukaan Suhu permukaan
5	Data sumur, dan lainnya	Kedalaman lubang Diameter lubang <i>Diameter out pipe</i> Suhu <i>gradient</i> <i>Gas gravity</i> Sudut kemiringan sumur

3.2 FLOWCHART



Gambar 3.5 Flow Chart

3.3 TEMPAT PENGAMBILAN DATA

Teknik pengambilan data yang digunakan adalah menggunakan data sekunder yang dilakukan di PT. KS ORKA Sorik Marapi *Geothermal Power*, yang berlokasi di Mandailing Natal, Sumatra Utara.

3.4 JADWAL PENELITIAN

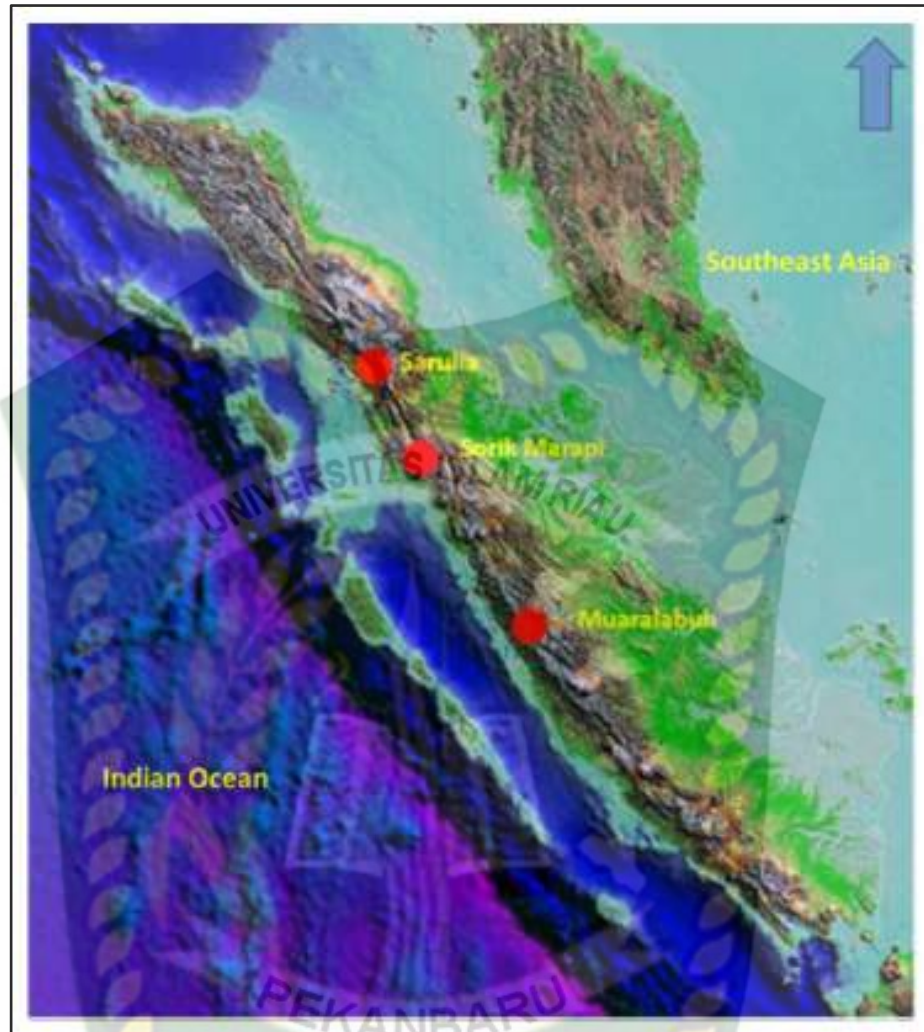
Penelitian akan dilakukan selama 3 bulan (12 minggu) dimulai dari bulan Mei – Juli yang dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 3.3 Jadwal Penelitian

Kegiatan	Waktu Penelitian (Bulan)											
	Mei				Juni				Juli			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Orientasi Lapangan/Studi Literatur	■	■	■									
Pengumpulan Data				■	■	■						
Pengolahan Data						■	■	■	■			
Membuat Laporan Hasil											■	■

3.5 TINJAUAN LAPANGAN

Lapangan panas bumi Sorik Marapi merupakan salah satu lapangan panas bumi yang sedang aktif beroperasi di Indonesia hingga sekarang. Berlokasi di dalam wilayah administrasi kabupaten Mandailing Natal, sekitar 650 km selatan-menenggara Medan, ibu kota provinsi Sumatera Utara. Secara geografis terletak di antara dua lapangan panas bumi yang sedang dikembangkan yaitu Sarulla dan Muaralabuh (Hidayat, Hendri, & Chandra, 2019) (Sagala, Chandra, & Purba, 2016).



Gambar 3.6 Peta yang menunjukkan lokasi Lapangan panas bumi Sarulla, Sorik Marapi dan Muaralabuh (Sagala et al., 2016)

Saham Sorik Marapi *Geothermal Power* (PT.SMGP) yang diakuisisi oleh KS ORKA *Renewables Pte Ltd* pada tahun 2016 mempunyai konsesi panas bumi yang meliputi area seluas kurang lebih 629 km². Daerah panas berada di dalam zona depresi bagian cekung pisah-tarik akibat dari perpindahan zona sesar Sumatera.

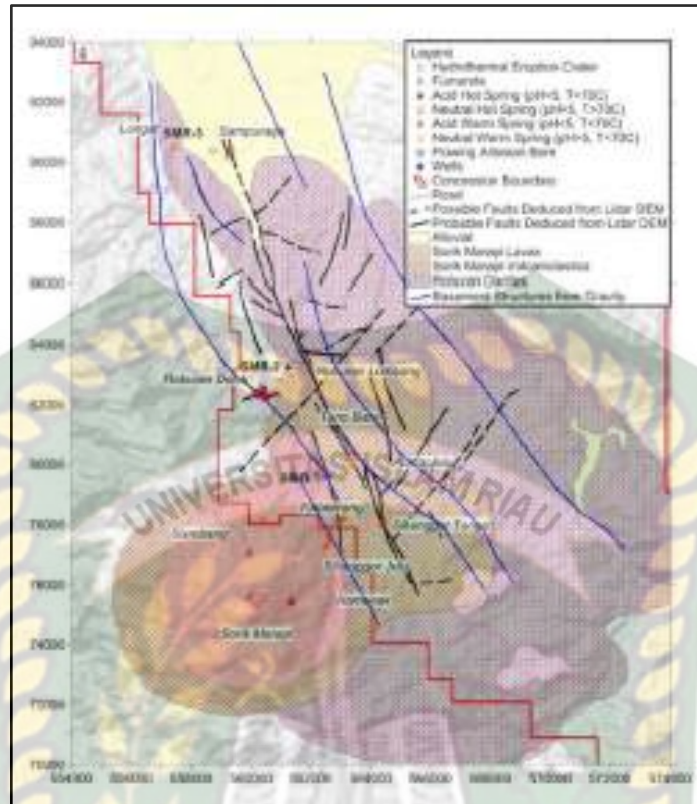
3.5.1 Sejarah Sorik Marapi *Geothermal Power*

Lapangan panas bumi Sorik Marapi pertama kali diberi konsesi kepada *Konsorsium Origin Energy of Australia* dan *Tata Power of India* pada tahun 2010, melalui perusahaan lokal yang dikenal sebagai *OTP Geothermal Power*. Konsorsium telah mendapatkan izin lokal, regional dan nasional untuk

melakukan survei geologi, geokimia dan geofisika menggambarkan sumber daya panas bumi utama sehingga dapat menentukan anomali panas bumi yang besar berdasarkan hasil survei MT dengan perkiraan suhu sumber daya melebihi 270°C. Dengan didapatkannya hasil ini maka dimulainya perencanaan pengembangan kawasan, yaitu pembebasan lahan, pembangunan jalan akses dan pembangunan *well pad*. Tahun 2016 terjadinya penurunan secara drastis harga minyak di pasar dunia yang menyebabkan Origin dan Tata Power melelang konsesi tersebut. KS Orka *Renewables Pt. Ltd* yang merupakan perusahaan Singapura yang memenangkan tender dan menerima persetujuan pemerintah dalam pengalihan kepemilikan pada agustus 2016. Bulan Oktober 2017 dilakukan mobilisasi dan *spudding rig* pada sumur pertama di sektor Sibanggor, dan *rig* kedua dimobilisasi 2 bulan setelahnya untuk memulai pengeboran di sektor Roburan. Selama tiga setengah tahun KS Orka telah berhasil menyelesaikan pengeboran sebanyak 25 sumur dengan potensi pembangkit listrik tenaga panas bumi yang diperoleh dari satu unitnya mencapai 45 MW (Sarmiento et al., 2017).

3.5.2 Struktur Geologi Lapangan Sorik Marapi

Pulau Sumatera yang secara fisiografi berarah barat laut yang merupakan perpanjangan ke selatan dari lempeng benua Eurasia. Gunung api Sorik Marapi merupakan gunung api aktif kawah danau tipe A dengan ketinggian 2145 mdpl yang pada area prospek Sampuraga termasuk zona graben yang memiliki arah barat laut - tenggara yang terlihat di wilayah Penyambungan (Graben Panyambungan), Rao (Graben Rao) dan Lupuk Sikaping (Graben Sumpur) yang merupakan bagian dari sesar Sumatera (Luthfi1, Haryanto1, & Siagian2, 2020). Lapangan Sorik Marapi terletak di ujung tenggara Graben Panyabungan dan secara geologis graben dibatasi oleh batuan metamorf pra-tercier di sisi timur dan barat yang diisi oleh vulkanik dasit tua. Material sedimen dari fase awal vulkanisme dan rangkaian batuan vulkanik muda dari fase sekarang aktivitas gunung api Sorik Marapi dan tumpukan batuan yang tebal ini diharapkan dapat menjadi penyimpan panas yang baik.

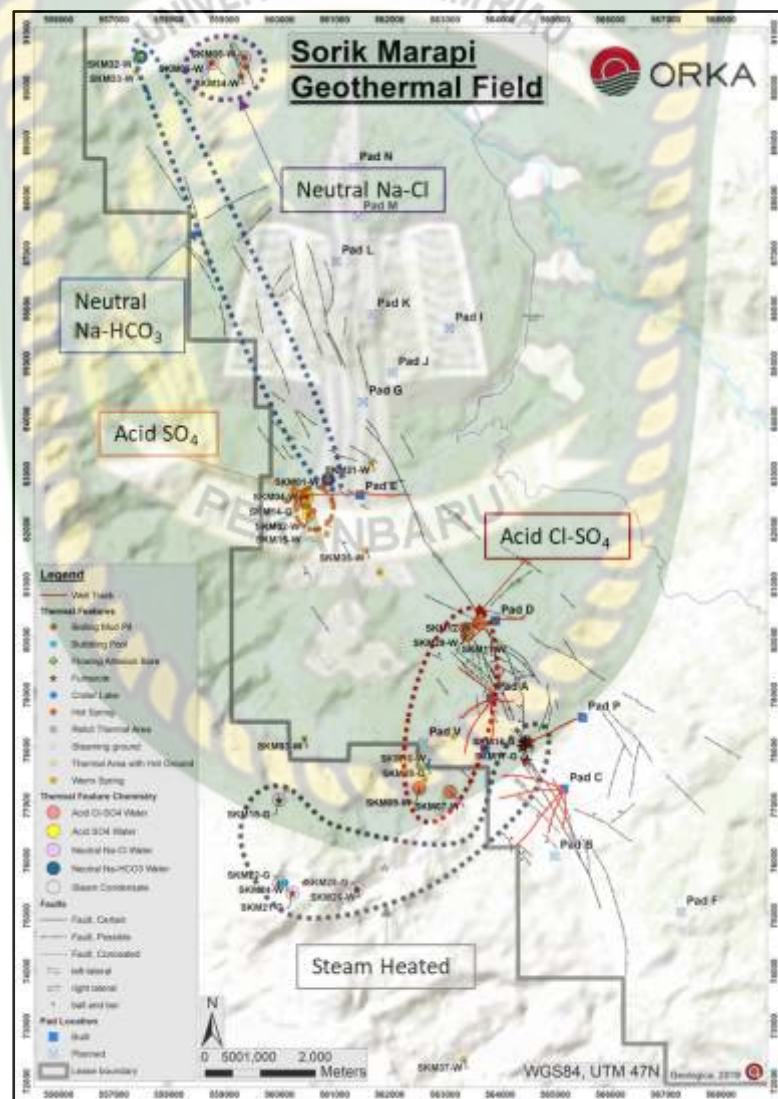


Gambar 3.7 Peta Geologi Kawasan Sorik Marapi (Sagala et al., 2016)

3.5.3 Sorik Marapi Geothermal Well

Reservoir Panas Bumi Sorik Marapi saat ini dikembangkan oleh pihak SMGP memiliki beberapa jenis kimia pada manifestasi permukaan yaitu danau kawah asam - klorida dan fumarole puncak, mata air asam - sulfat dan asam – sulfat - klorida di sisi timur dan utara gunung berapi dan mata air panas dan hangat klorida yang hampir netral ke utara. SMGP telah melakukan pengeboran sekitar 25 sumur dari 6 *well pad* dan saat ini menghasilkan 45 MW tenaga panas bumi sebagai tahap pertama pengembangan panas bumi dari sekitar 6 sumur produksi yang terletak di Pad A dan menginjeksikan ke dalam dengan jumlah yang kurang lebih sama dari sumur yang terletak di *pad C*, *pad D*, dan *pad P*. Komisi studi eksplorasi oleh SMGP menunjukkan beberapa jenis fluida panas bumi yang ada di daerah Sorik Marapi dan di sepanjang zona sesar Sumatera (GSFZ) yang berdekatan. Fluida ini secara umum dapat dikategorikan sebagai fluida Na-Cl netral, fluida Na-HCO₃ netral, cairan asam SO₄ atau SO₄-Cl. Fluida Na-Cl netral terletak jauh di sebelah utara *reservoir* Sorik Marapi yang terbukti bersuhu tinggi, memiliki geotermometri yang lebih

rendah, dan kemungkinan besar tidak terkait dengan *reservoir* utama. Sampel fluida *geothermal* dua fasa telah dikumpulkan dari uji pelepasan sumur, dimana pemodelan geokimia dari dua fasa yang dikoreksi ke kondisi *reservoir* menunjukkan bahwa kimia *reservoir* semua sumur serupa yaitu *brine* Na-Cl netral. Suhu *geothermometer* silika dari analisis sampel sumur berkisar dari 246°C hingga 277°C, sedangkan *geothermometer* kation sekitar 10°C hingga 30°C lebih tinggi. Sedikit variasi kimia antar sumur menunjukkan sedikit variasi suhu di lapangan dan juga mencerminkan variasi dalam batuan *reservoir*, lokasi aliran panas bumi dan aliran keluar (Colin & Ryan, 2020).



Gambar 3.8 Peta wilayah dan lapangan sumur Sorik Marapi dengan manifestasi permukaan wilayah tertentu (Colin & Ryan, 2020)

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN PENELITIAN

Penggunaan metode *aerated drilling* dalam mengatasi *partial loss circulation* pada sumur V di lapangan panas bumi Sorik Marapi ini terdapat pada zona produksi di kedalaman 1885 m sampai dengan 1921 m. Permasalahan *loss circulation* di sumur V diketahui dari beberapa gejala diantaranya terjadi penurunan tekanan di dalam sumur sebesar kurang lebih 300 psi, ketika dilakukannya sirkulasi terjadi peningkatan suhu dibawah sumur sebesar 33°C, berkurangnya volume lumpur yang cukup besar pada tangki lumpur dan pada *shale shaker* dan *solid control equipment* terjadi pengurangan laju alir balik lumpur. Menentukan keberhasilan dari pengangkatan *cutting* pada sumur V yang mengalami *partial loss circulation* dapat ditentukan oleh beberapa parameter perhitungan yaitu *cutting concentration* (Cc), *transport cutting ratio* (Ft), *Annular velocity* (Vann), *Net rise velocity* dan *Critical slip velocity* (Vmin).

Dalam penelitian ini peneliti mengevaluasi hasil pengangkatan *cutting* pada sumur V yang mengalami *partial loss circulation* menggunakan metode pengeboran *aerated drilling* dengan meningkatkan laju pemompaan udara dan mengubah beberapa parameter lainnya, sehingga dapat meningkatkan *hole cleaning* pada sumur V dan pengangkatan *cutting* lebih optimal dibandingkan sebelumnya. Untuk mendapatkan hasil dari beberapa parameter-parameter tersebut dibutuhkan data *drilling* sebagai berikut:

Tabel 4.4 Data Drilling

Depth (m)	Dh (in)	Dop (in)	Q (gpm)	QA (scfm)	ROP (m/h)	RPM (1/min)	θ (deg)
1855	12.25	5.00	816	500	8.41	51	39.4
1888	12.25	5.00	845	500	7.94	53	40.8
1921	12.25	5.00	773	863	8.77	50	42.3

5.1 Penggunaan Awal Metode *Aerated Drilling*

Ketika berlangsungnya pengeboran pada trayek 12^{1/4}, sumur V mengalami *partial loss circulation* pada kedalaman 1855 m. Dapat dilihat dari table dibawah ini :

Tabel 4.5 Data *loss circulation* pada sumur V

<i>Depth</i> (m)	<i>Blooie Temperature</i> (°C)	<i>Return</i> (%)	<i>Return Aerated</i> (%)
1791	24	43	0
1823	27	22	0
1855	63	0	39
1888	57	0	36
1921	56	0	56

Data *blooie temperature* atau suhu yang tercatat pada *blooie line* mengalami peningkatan yang cukup besar hingga mencapai 36°C pada kedalaman 1855 m sampai dengan kedalaman 1921 m, hal ini disebabkan oleh adanya rekahan pada lubang sumur yang menyebabkan fluida sirkulasi hilang ke rekahan dan suhu meningkat. Dapat dilihat juga untuk nilai dari *return*, fluida yang kembali ke permukaan mengalami penurunan hingga 20% dimulai dari kedalaman 1791 m sampai 1823 m.

Penanganan permasalahan tersebut KS ORKA menerapkan metode *aerated drilling* yang bertujuan untuk mengangkat *cutting* ke permukaan dan melanjutkan proses pengeboran yang sempat terkendala, sehingga dapat dilihat pada table diatas data yang diperoleh dari lapangan didapatkan *return aerated* atau bisa juga disebut *transport cutting ratio* pada kedalaman 1855 m sampai 1921 m mengalami kenaikan lebih kurang 17% – 34%.

Selanjutnya peneliti melakukan perhitungan dengan menggunakan rumus bertujuan untuk membandingkan data hasil *return aerated* dari lapangan dengan hasil yang didapatkan dengan menggunakan rumus, serta untuk mengetahui kadar *cutting* yang terdapat pada lubang sumur. Dapat dilihat pada tabel di bawah ini, hasil dari perhitungan menggunakan metode *aerated drilling* yang diterapkan pada sumur V.

Tabel 4.6 Hasil Perhitungan Metode *Airated Drilling* pada Sumur V

Depth (m)	QA (SCFM)	Vann (fpm)	Vs (fpm)	Net Rise velocity (fpm)	Critical Slip Velocity		Cc (%)	Ft (%)
					Vc	Vmin (≤ 45)		
1855	500	97.99	64.97	33.02	0.28	143.82	0.5	34
1888	500	97.99	64.97	33.02	0.28	146.35	0.5	34
1921	863	169.06	64.97	104.08	0.87	150.41	0.2	62

Hasil dari *return aerated* atau *transport cutting ratio* (Ft) yang diperoleh dari penggunaan rumus tidak jauh beda dengan nilai yang diperoleh dari data lapangan, yaitu hanya berbeda 5% sampai 6% dari masing – masing kedalaman.

Dengan Perhitungan menggunakan rumus, peneliti bisa menentukan parameter *hole cleaning* lainnya untuk mengetahui kondisi dan kadar *cutting* pada lubang sumur. Seperti pada kedalaman 1855 m di pompakan udara sebesar 500 scfm dengan *flow rate* sebesar 816 gpm. Dapat dilihat nilai dari kecepatan lumpur di *annular* (Vann) yaitu 97.99 fpm dan nilai dari kecepatan lumpur minimum (Vmin) sebesar 143.82 fpm. Dari hasil tersebut bisa diketahui bahwa pembersihan *cutting* pada sumur V belum dikatakan baik, yang mana pembersihan dikatakan baik jika nilai Vann harus lebih besar dari nilai Vmin. Hasil dari *net rise velocity* bernilai positif yaitu 33.02 fpm yang artinya laju aliran fluida bekerja baik dalam mengangkat *cutting* ke permukaan. Nilai dari *cutting concentration* (Cc) kecil dari 5 % yang menandakan konsentrasi *cutting* disumur sudah kecil. Namun hasil dari *transport cutting ratio* (Ft), nilai tersebut belum dikatakan baik dalam pengangkatan *cutting* yang mana kecil dari seharusnya yaitu harus melebihi atau sama dengan 80%.

Begitu juga pada kedalaman 1888 m sampai 1921 m, hasil parameter yang didapatkan sudah cukup baik, terkecuali untuk pengangkatan *cutting* dan pembersihan *cutting* yang masih jauh dari kata baik. Sehingga perlu dilakukan evaluasi pada sumur V untuk mencapai hasil yang baik dalam pengangkatan dan pembersihan *cutting* pada sumur V.

5.2 Evaluasi pada sumur V

Diketahui :

$$aMW = 8.4 \text{ ppg}$$

$$dMW = 4.56 \text{ ppg}$$

$$Ps = 10 \text{ psia}$$

$$Ts = 132 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$\rho_A = 8.33 \text{ ppg}$$

$$\rho_c = 22 \text{ ppg}$$

$$dc = 0.3 \text{ in}$$

1. Laju pemompaan udara (QA)

$$T = \frac{Ts + D \times \frac{Tg}{100} + Ts}{2}$$

$$T = \frac{132 + \frac{4}{100} + 132}{2}$$

$$T = 253.72 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$Q_A = \frac{(42 \times D \times aMW - 808(0.052 \times D \times dMW + 14.7 - Ps))}{4.071 \times (T + 460) \ln\left(\frac{0.052 \times D \times g_g + 14.7}{Ps}\right) - 0.0764 \times D \times g_g}$$

$$Q_A = \frac{(42 \times 6086 \times 8.4 - 808(0.052 \times 6086 \times 4.56 + 14.7 - 10))}{4.071 \times (253.72 + 460) \ln\left(\frac{0.052 \times 6086 \times 1 + 14.7}{10}\right) - 0.0764 \times 6086 \times 1}$$

$$Q_A = \frac{977301.71}{9704.59}$$

$$Q_A = 100.71 \text{ scf/bpm}$$

$$Q_A(\text{scfm}) = \frac{Q_1}{42} \times Q_A(\text{scf/bpm})$$

$$Q_A(\text{scfm}) = \frac{816}{42} \times 100.71(\text{scf/bpm})$$

$$Q_A(\text{scfm}) = 19.43 \times 100.71(\text{scf/bpm})$$

$$Q_A(\text{scfm}) = 1956.97 \text{ scfm}$$

2. Annular Velocity (V_{ann})

$$V_{ann} = \frac{24.51 \times QA}{D_h^2 - D_{op}^2}$$

$$V_{ann} = \frac{24.51 \times 1956.97}{12.25^2 - 5^2}$$

$$V_{ann} = \frac{47965.33}{125.06}$$

$$V_{ann} = 383.53 \text{ fpm}$$

3. Slip Velocity (V_s)

$$V_s = 92.6 \times \sqrt{dc \left(\frac{\rho_c - \rho_A}{\rho_A} \right)}$$

$$V_s = 92.6 \times \sqrt{0.3 \left(\frac{22 - 8.33}{8.33} \right)}$$

$$V_s = 92.6 \times 0.49$$

$$V_s = 64.97 \text{ fpm}$$

4. Net Rise Velocity

$$\text{Net rise velocity} = V_{ann} - V_s$$

$$\text{Net rise velocity} = 383.53 - 64.97$$

$$\text{Net rise velocity} = 318.56 \text{ fpm}$$

5. Transport Cutting Ratio

$$F_t = \frac{V_{ann} - V_s}{V_{ann}} \times 100\%$$

$$F_t = \frac{383.53 - 64.97}{383.53} \times 100\%$$

$$F_t = 83 \%$$

6. Cutting Concentration

$$C_c = \frac{ROP \times Dh^2}{14.7 \times F_t \times Q}$$

$$C_c = \frac{8.41 \times 12.25^2}{14.7 \times 0.83 \times 1956.97}$$

$$Cc = \frac{1262.03}{23876.99}$$

$$Cc = 0.05 \%$$

7. Critical Slip Velocity

$$Vc = \frac{ROP}{60 \times Cc}$$

$$Vc = \frac{8.41}{60 \times 0.05}$$

$$Vc = 2.65 \text{ fpm}$$

$$Vmin = Vc + \left[1 + \frac{\theta(600 - RPM) \times (3 + \rho_A)}{202500} \right] \times V_s$$

$$Vmin = 2.62 + \left[1 + \frac{39.4(600 - 51) \times (3 + 8.33)}{202500} \right] \times 64.97$$

$$Vmin = 2.62 + \left[1 + \frac{244868.24}{202500} \right] \times 64.97$$

$$Vmin = 2.62 + 143.54$$

$$Vmin = 146.19 \text{ fpm}$$

Tabel 4.7 Hasil perhitungan evaluasi pada sumur V

Depth (m)	QA (scfm)	Vann (fpm)	Vs (fpm)	Net Rise velocity (fpm)	Critical Slip Velocity		Cc (%)	Ft (%)
					Vc	Vmin (≤ 45)		
1855	1956.97	383.53	64.97	318.56	2.62	146.19	0.05	83
1888	2053.19	402.39	64.97	337.42	2.81	148.89	0.05	84
1921	1903.84	373.12	64.97	308.15	2.57	152.11	0.06	83

Hasil perhitungan dari evaluasi yang dilakukan pada trayek 12¹/₄ di kedalaman 1855 m sampai 1921 m dengan menaikkan besar laju pemompaan udara masing-masing menjadi 1956.97 scfm, 2053.19 scfm, dan 1903.84 scfm sehingga didapatkan nilai dari kecepatan lumpur di *annular* (Vann) yaitu 383.53 fpm, 402.39 fpm dan 373.12 fpm serta nilai dari kecepatan lumpur minimum (Vmin) yaitu 146.19 fpm, 148.89 fpm dan 152.11 fpm. Hasil evaluasi ini menunjukkan bahwa pembersihan *cutting* pada lubang sumur V sudah baik, dimana nilai yang diperoleh

dari V_{ann} besar dari nilai V_{min} . Laju aliran fluida pada sumur V juga baik dalam mengangkat *cutting*, dapat di lihat dari nilai *net rise velocity* yang bernilai positif yaitu 318.56 fpm, 337.42 fpm, 308.15 fpm. Persentase nilai dari *transport cutting ratio* (F_t) yang diperoleh dari setiap kedalaman yaitu 83%, 84%, dan 83% yang artinya kemampuan fluida sirkulasi dalam menangkat *cutting* ke permukaan sudah baik karena melebihi dari 80%, dan nilai dari *cutting concentration* (C_c) masing-masing sebesar 0.05%, 0.05% dan 0.06% yang sudah memenuhi kriteria yaitu bernilai dibawah 5%.

5.3 Mengoptimasi *Transport cutting ratio* pada sumur V

Persentase nilai *transport cutting ratio* dari evaluasi yang dilakukan sudah memenuhi kriteria yang dikatakan baik dalam penangkatan *cutting* ke permukaan. Namun untuk mendapatkan hasil yang optimal, persentase yang diperoleh harus mencapai 90% atau lebih besar dari 90%. Sehingga peneliti perlu melakukan peningkatan untuk mendapatkan hasil yang lebih optimal.

Untuk mendapatkan hasil *transport cutting ratio* yang optimal perlu ditingkatkan besar laju pemompaan udaranya, maka langkah awal yang dilakukan yaitu mengasumsi nilai rasio sebesar 90 % atau 0.9 dengan nilai *slip velocity* yang tetap yaitu sebesar 64.97 fpm.

$$F_t = \frac{V_{ann} - V_s}{V_{ann}}$$

$$0.9 = \frac{V_{ann} - 64.97}{V_{ann}}$$

$$0.9V_{ann} = V_{ann} - 64.97$$

$$V_{ann} = \frac{64.97}{0.1}$$

$$V_{ann} = 649.7 \text{ fpm}$$

Untuk mencari besar laju pemompaan udara optimum, yaitu :

$$V_{ann} = \frac{24.51 \times QA}{D_h^2 - D_{op}^2}$$

$$649.7 = \frac{24.51 \times QA}{12.25^2 - 5^2}$$

$$649.7 = \frac{24.51QA}{125.06}$$

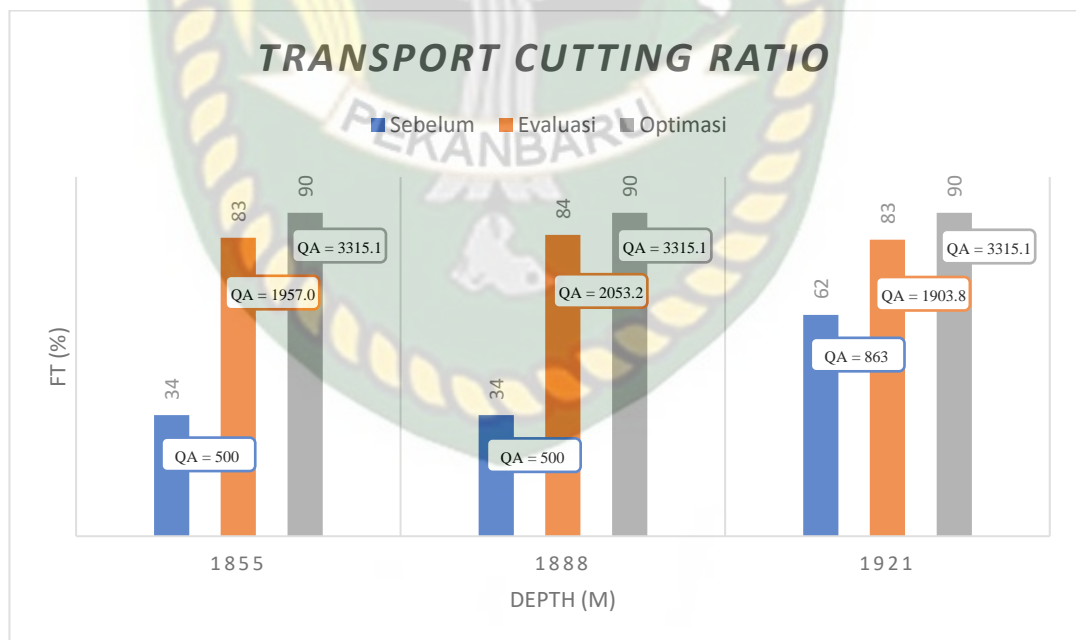
$$QA = \frac{81253.11}{24.51}$$

$$QA = 3315.1 \text{ scfm}$$

Dengan meningkatkan nilai besar laju pemompaan udara menjadi 3315.1 scfm maka persentase dari *transport cutting ratio* juga akan meningkat menjadi 90%, sehingga kemampuan fluida sirkulasi dalam menangkat *cutting* ke permukaan menjadi optimal.

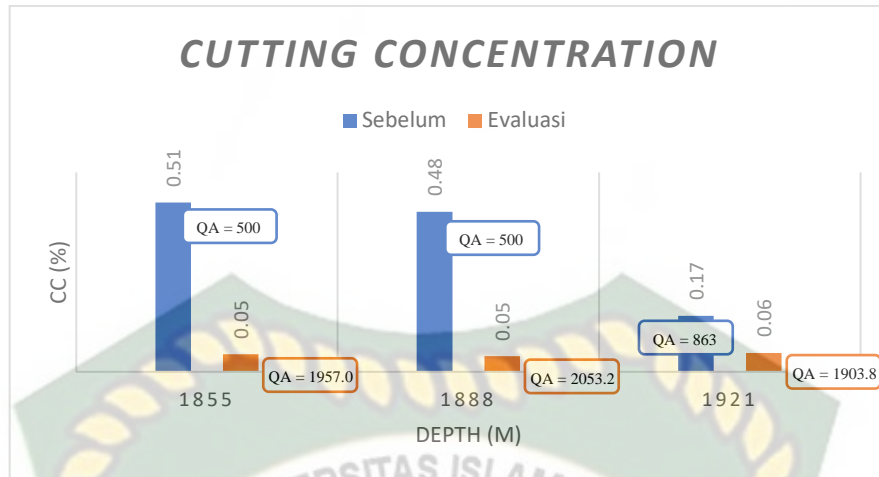
Secara lapangan, hasil optimasi yang dilakukan tidak dapat di aplikasikan pada lapangan panas bumi Sorik Marapi dikarenakan perlengkapan yang tersedia pada lapangan Sorik Marapi terdiri dari 4 *compressor* dan 2 *booster*, yang mana *capacity maximum* pemompaan udara hanya sekitar 2700 – 3000 scfm saja.

Untuk melihat lebih jelasnya dari peningkatan pada nilai *transport cutting ratio* sebelum dilakukannya evaluasi, setelah dilakukan evaluasi dan dilakukan optimasi dengan menambahkan besar laju pemompaan udara dapat dilihat pada grafik berikut :



Gambar 4.9 Grafik Evaluasi *Transport Cutting Ratio*

Dengan meningkatnya nilai *transport cutting ratio* maka kadar *cutting* dalam lubang sumur semakin kecil, dimana nilai Ft berbanding terbalik dengan nilai Cc. untuk lebih jelasnya nilai *cutting concentration* dapat dilihat pada grafik berikut :



Gambar 4.10 Grafik Evaluasi *Cutting Concentration*

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang didapatkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Dengan pemompaan udara sebesar 500 scfm, 500 scfm dan 863 scfm pada kedalaman 1855 m, 1888 m dan 1921 m yang dilakukan oleh KS ORKA, nyatanya pembersihan *cutting* pada sumur V masih tidak secara baik naik ke permukaan. Dapat dilihat dari nilai V_{ann} , V_{min} dan F_t di beberapa kedalaman, tidak memenuhi kriteria yang sudah ditetapkan dimana nilai $V_{ann} > V_{min}$ dan nilai $F_t \geq 80\%$. Untuk nilai dari *net rise velocity* sudah dikatakan baik dikarenakan bernilai positif, begitu pula dengan nilai C_c telah sesuai dengan ketentuan kriteria yaitu $< 5\%$.
2. Berdasarkan hasil dari evaluasi dengan meningkatkan besar pemompaan udara, diperoleh nilai $V_{ann} > V_{min}$ pada kedalaman 1855 m, 1888 m, dan 1921 m antara lain $383.53 \text{ fpm} > 146.19 \text{ fpm}$, $402.39 \text{ fpm} > 148.89 \text{ fpm}$, $373.12 \text{ fpm} > 152.11 \text{ fpm}$ yang menandakan penangkatan *cutting* sudah baik. Nilai F_t juga meningkat setelah dilakukannya evaluasi, dimana sudah memenuhi kriteria yaitu 83%, 84% dan 83%. Dengan meningkatnya nilai F_t maka semakin kecil pula kadar dari serpihan yang terdapat di *annular* yang dapat dilihat dari nilai C_c yaitu 0.05%, 0.05% dan 0.06%.
3. Berdasarkan hasil peningkatan untuk mendapatkan nilai F_t yang optimal yaitu $\geq 90\%$, besarnya laju pemompaan udara yang harus ditambahkan yaitu sebesar 3315.1 scfm.

5.2 Saran

Adapun saran untuk penelitian selanjutnya yaitu :

1. Menghitung dan menganalisis penggunaan *foam* sebagai bahan pendukung metode *aerated drilling* dalam mengoptimalkan pengangkatan *cutting* ke permukaan.
2. Menghitung keekonomian dalam penggunaan metode *aerated drilling* dalam mengatasi permasalahan loss circulation pada sumur panas bumi.

DAFTAR PUSTAKA

- Bizhani, M., Corredor, F. E. R., Pipelines, E., & Kuru, E. (2016). *Quantitative Evaluation of Critical Conditions Required for Effective Hole Cleaning in Coiled-Tubing Drilling of Horizontal Wells*.
- Brahmantyo, F. (2016). *Evaluasi Penggunaan Metode Aerated Drilling Pada Lapangan Panas Bumi BP Sumur Z PT. Pertamina Geothermal Energy*. 9–39.
- Budi, I. M., & Adi, K. (2008). *Drilling Practice With Aerated Drilling Fluid : Indonesian And Icelandic Geothermal Fields*. (11).
- Bumi, L., & Pstream, B. (2015). *Evaluasi Penggunaan Aerated Drilling pada sumur dindra Lapangan panas Bumi Bpa-08pt. Pertamina Upstream Technologycenter*. 292–296.
- Chemwotei, S. C. (2011). *Geothermal drilling fluids*. i(10), 149–177.
- Colin, C., & Ryan, H. (2020). *The Fluid Geochemistry of the Sorik Marapi Geothermal Reservoir, Carver and Hidayat, GRC 2020*.
- Dayan, G. M. (2014). *Drilling Fluid Design For Geothermal Wells*.
- Dharmaputra, J. D. (2018). *Evaluasi hidrolika lumpur pemboran menggunakan metode API power law*. 7–43.
- DrillingFormulas. (2011). Cutting Slip Velocity Calculation Method 2. Retrieved from <http://www.drillingformulas.com/cutting-slip-velocity-calculation-method-2/>
- Dwinanto, A., & Rachmat, S. (2014). *Aerated Underbalance Drilling Screening Assessment at “ X ” Geothermal Field in Indonesia*. (2009), 1–12.
- Efendi. (2011). *Perlindungan Sumberdaya Alam dalam Islam*. (55), 17–31.
- Fadjri, F. S. (2011). *Studi Kelayakan Pemboran Berarah untuk Pemindahan Wellhead Di Lapangan Milik Pt Adaro feasibility Study Of Directional Drilling Operation for Wellhead Relocation On Pt Adaro’s Oilfield*.

- Haryadi, Suherman, A. (2019). *Aerated Drilling Fluid Cutting Lifting Analysis At Hululais*. 3.
- Hidayat, R., Hendri, R., & Chandra, V. (2019). An Overview Geochemistry in Sorik Marapi Geothermal Field. *The 7th Indonesia International Geothermal Convention & Exhibition (IIGCE) 2019*, pp. 1–6.
- Hole, H. (2008). *Drilling Fluids For Drilling Of Geothermal Wells*.
- Jodi, K. E., & Ginting, M. (2015). Analisis Perhitungan Pengangkatan Cutting Pada Sumur “K” Lapangan “N” PT.Pertamina UTC. 3(cc), 204–211.
- Kusumawardani, R., Kustono, B., & Pudyastuti, K. (2015). Kinerja Operasi Aerated Drilling Pada Sumur N di Lapangan Panas Bumi K. 458–467.
- Lake, L. . . (2006). *Petroleum Engineering Handbook, Society of Petroleum Engineering, USA*.
- Lin, J. (2018). *the International Field Exploration and Development Conference 2018*.
- Luthfi1, M., Haryanto1, A. D., & Siagian2, J. H. H. (2020). *Pemodelan Sistem Panasbumi Pada Sumur MI-1, MI-2 Dan MI-3 Berdasarkan Analisis Petrografi Dan Magnetotellurik Di Lapangan Panasbumi Sorik Marapi, Kabupaten Mandailing Natal, Sumatera Utara*. 4(2), 154–162.
- Lysons, W. C. (2009). *Air and gas drilling manual: applications for oil and gas recovery wells and geothermal fluids recovery wells*.
- Malik, D. (2012). *Geochemistry Monitoring During Drilling In Wayang Windu Field , Indonesia*. (November), 1–6.
- Martasari, R. D., Yoga, G., & Aditya, R. (2017). Analisis pressure window untuk pengoperasian. 2(8), 98–111.
- Melysa, R., & Fitrianti. (2015). Analisis Potensi Daya Listrik Pada Sumur Produksi Panas Bumi Dengan Menggunakan Metode Back Pressure Pada Unit XY. *Journal of Earth Energy Engineering*, 4(2), 30–37.

- Moore, P. L. (1986). *Drilling Practices Manual.pdf* (p. 604). p. 604.
- Nas, S., Toralde, J. S. S., Solutions, W., Bhd, S., Wing, W., Perkasa, R., ... Lumpur, K. (2010). *Geothermal Aerated Fluids Drilling Operations in Asia Pacific*. (8), 25–29.
- Nouban, F., & Abazid, M. (2017). *Plastic degrading fungi Trichoderma viride and Aspergillus nomius isolated from Nouban, F. and Abazid, M. (2017) 'Plastic degrading fungi Trichoderma viride and Aspergillus nomius isolated from local landfill soil in Medan', Iopscience.Iop.Org, 8(February)*.
- Nugroho, W. A., Sumantri, M., Wibisono, D., Pertamina, P. T., & Services, D. (2017). *Analisis Perhitungan Pengangkatan Cutting Pada Sumur "K" Lapangan "N" PT.Pertamina UTC*.
- Ozbayoglu, M. E., Sorgun, M., & East, M. (2010). *Hole Cleaning Performance of Light-Weight Drilling Fluids During Horizontal Underbalanced Drilling*. 49(4), 5–10.
- Pradana, G. Y. (2016). *Penentuan Pressure Window Pada Trayek 12-1/4 Dan 9-7/8 Untuk Operasi Aerated Drilling Pada Pemboran Panas Bumi*.
- Putra, I. M. B. K. A. (2008). *Drilling Practice with Aerated Drilling Fluid: Indonesian and Icelandic Geothermal Fields. Unu-Gtp, (11), 85–86*.
- Ramos, S. A. (2012). *Aerated Drilling*.
- Russel. (1987). *The Use Of Aerated Fluids In Geothermal Drilling*. 153–157.
- RW. Watson, M. A. A. (1997). *Pneumatic Transport of Solids Using Dry Air*.
- Sagala, B. D., Chandra, V. R., & Purba, D. P. (2016). *Conceptual Model of Sorik Marapi Geothermal System Based on 3-G Data Interpretation. Proceedings of IIGCE 2016, (February), 1–8*.
- Saptadji, N. M. (2018). *Teknik Geotermal (1st ed.; H. B. Pratama & Feri Anugrah, Eds.)*. Bandung.
- Sarmiento, Z. F., Bjornsson, G., Licup, A. C., Esberto, M. B., Indra, T., & Baltasar,

A. S. J. (2017). Update on the Exploration and Development Drilling at the Sorik Marapi Geothermal Field, North Sumatra, Indonesia. *Proceedings The 5th Indonesia International Geothermal Convention & Exhibition 2017, (Earth Science)*, 1–8.

Steve, D. (2012). *No Title Drilling Technology in Nontechnical Language*, Penwell Corporation, USA.

Toni, A., Pratama, R. A., Prasetyo, I. M., & Saputra, M. B. (2016). *The Deepest Geothermal Well in Indonesia : A Success Story of Aerated Drilling Utilization*. 40, 263–270.

