

Kinerja Operasi Aerated Drilling Pada Sumur N di Lapangan Panas Bumi K

Riviani Kusumawardani, Bambang Kustono, Kris Pudyastuti
Program Studi Teknik Perminyakan, Universitas Trisakti

Abstract

Well N is one of wells in Geothermal Field K. Geothermal Field K located in Muara Enim, South Sumatera. Well N drilled to 2700 mKU / 2425 mKT. By using aerated drilling techniques, well N planned to be completed until 56 days. The main objective on the use of aerated drilling in well N is to reduce the zone with weak pressure formation or zone which have some sort of problem lost circulation, especially the total lost circulation. In addition, the use of this system is expected to lift cuttings from the loss circulation zone to the surface. The step is parameters analysis which can evaluated performance of aerated drilling operation such as gas injection volume, density and air volumetric rate, fraction fluids of aerated, aerated viscosity, flow rate and pattern of aerated, concentration of cuttings (Cc) in bore hole annulus, transport cutting ratio (Ft), and rate of cutting lifting. From the evaluation and optimization analysis from five parameters in aerated drilling operation at 17 1/2", 12 1/4" and 9 5/8" trajectory, can be known that cutting lifting has been optimum because parameters from the calculations showed fluids flow in annulus (Vann) is more than cutting lifting minimum (Vmin), concentration of cuttings (Cc) is less than 4%, Transport Cutting Ratio (Ft) is more than 80% and pattern of flow is transition.

Keywords: aerated drilling, loss circulation, geothermal

Pendahuluan

Tulisan berjudul "Kinerja Operasi Aerated Drilling pada Sumur N Lapangan Panas Bumi K" bertujuan untuk evaluasi aerated drilling yang telah dilaksanakan pada trayek 17 1/2", 12 1/4", dan 9 7/8". Pemboran pada sumur tersebut direncanakan dapat diselesaikan dalam waktu 56 hari.

Data yang digunakan yaitu tekanan dan temperatur sumur, rheology lumpur dasar, densitas dan diameter cutting, laju alir lumpur dan udara, serta Rate Of Penetration (ROP) dan Rotate Per Minute (RPM) pada bit. Langkah perhitungan yang dilakukan untuk mencapai tujuan tersebut mencakup volume gas injeksi, densitas dan laju volumetrik udara, fraksi cairan dalam aerated, viskositas aerated, kecepatan dan pola aliran aerated, konsentrasi cutting (Cc) pada annulus lubang bor, transport cutting ratio (Ft), dan kecepatan pengangkatan serbuk bor.

Hasil evaluasi dari lima parameter pada operasi pemboran Aerated tersebut dibandingkan terhadap referensi. Perbedaan antara aktual dengan referensi dievaluasi, kemudian dilakukan perhitungan optimasi untuk mengetahui perbedaan hasil perhitungan evaluasi dan optimasi terhadap densitas aerated (ρ), transport cutting ratio (Ft), volume gas injeksi (Q_{gs}), pola aliran aerated (nRe), dan konsentrasi cutting (Cc) pada annulus lubang bor. Evaluasi parameter-parameter tersebut dengan menaikkan laju gas injeksi dan menurunkan densitas lumpur aerated menunjukkan pengangkatan serbuk bor dapat lebih optimum.

Rumusan Masalah

Keberhasilan pemboran sumur adalah faktor kunci dalam pengembangan lapangan geothermal. Aerated drilling merupakan teknik pemboran underbalanced, bertujuan untuk memperbaiki produksi sumur dan dalam beberapa kasus, mengatasi hole cleaning selama operasi pemboran.

Teori Dasar

Untuk mengatasi hole problem seperti stuck pipe karena penumpukan cutting yang terjadi di lubang bor karena pembersihan lubang bor yang tidak efisien, maka digunakan metode Aerated drilling ini. Selain dengan mengoptimalkan pengangkatan serbuk bor ke permukaan, dan untuk pembersihan lubang bor untuk mengurangi terjadinya hole problem selain itu juga mencegah masuknya sisa serbuk bor kedalam zona TLC dapat merubah sifat fisik untuk reservoir itu. Serbuk bor yang terangkat ke permukaan dapat dijadikan kajian atau analisa bagi ahli geologi.

Faktor-faktor parameter pengaruh pada pengangkatan cutting dalam lubang bor pada zona TLC yaitu kecepatan fluida sirkulasi dalam annulus (V_{ann}), kecepatan kritis serbuk bor (V_c), Kecepatan terminal serbuk bor (V_t), densitas fluida sirkulasi (ρ), dan viskositas fluida sirkulasi (μ). Pembersihan lubang bor akan lebih baik jika kecepatan fluida sirkulasi di annulus (V_{ann}) melebihi dari kecepatan terminal kritis dan kecepatan terminal serbuk bor.

Kelebihan dan Kekurangan Lumpur *Aerated*

Setelah bersirkulasi sebagai lumpur pemboran, lumpur aerated melalui separator udara-lumpur untuk proses pemisahan udara dan lumpur biasa. Kemudian lumpur aerated dibersihkan dari cutting, dan lumpur aerated kembali menjadi lumpur biasa. Lumpur biasa akan membentuk kembali menjadi lumpur aerated dengan menginjeksikan udara. Kelebihan ini tidak dimiliki oleh pemboran busa yang menggunakan busa sebagai fluida pemboran, dimana setelah bersirkulasi bisa tidak bisa digunakan lagi.

Lumpur aerated dapat digunakan untuk pemboran di formasi-formasi bertekanan rendah dimana masalah hilang sirkulasi terjadi jika menggunakan lumpur biasa walaupun hanya menggunakan air ditambah viscosifier. Lumpur aerated juga dapat digunakan pada formasi yang mengandung fluida formasi yang banyak dimana pemboran air atau gas tidak dapat berfungsi dengan efisien.

Kemampuan udara atau gas dalam meningkatkan laju penetrasi pada pemboran air atau gas juga dimiliki oleh lumpur aerated dibandingkan laju penetrasi pada pemboran konvensional yang menggunakan lumpur biasa. Kemudahan dan kecepatan menembus suatu formasi ketika pemboran merupakan fungsi dari tekanan hidrostatik terhadap formasi.

Kerusakan formasi pada zona produksi lebih kecil jika tekanan hidrostatik sirkulasi lumpur lebih besar dibandingkan tekanan formasi. Dengan demikian lumpur aerated dapat berfungsi sebagai fluida pemboran pada pemboran overbalanced atau pemboran underbalanced hanya dengan mengatur perbandingan udara dan lumpur biasa.

Ukuran cutting yang diperoleh dari pemboran dengan menggunakan lumpur aerated hampir sama dengan ukuran cutting dari pemboran yang menggunakan lumpur biasa, dibandingkan ukuran cutting pemboran air atau gas yang berbentuk serbuk. Ukuran cutting ini memudahkan untuk dianalisa dan dijadikan petunjuk formasi yang sedang ditembus.

Pemboran aerated tidak menyebabkan terjadinya pembesaran lubang (washout) dibandingkan dengan pemboran yang menggunakan lumpur biasa. Hambatan pada dinding lubang sumur akan diperkecil dengan adanya udara dalam lumpur aerated.

Masalah korosi yang terjadi pada pemboran lumpur aerated merupakan masalah korosi paling besar dalam pemboran underbalanced, karena adanya udara dan cairan dalam lumpur aerated. Masalah korosi dapat dikurangi dengan penanganan yang memadai seperti pemilihan dan penggunaan air, pengaturan pH kurang dari 8 dan penggunaan korosi inhibitor, sehingga pemboran dengan menggunakan lumpur aerated dapat dijadikan alternatif pemilihan teknik pemboran yang baik.

Masalah keselamatan juga perlu menjadi perhatian karena penggunaan udara yang mengandung oksigen yang bertemu dengan hidrokarbon dan panas akan mengakibatkan bahaya kebakaran dan ledakan, walaupun masalah ini lebih kecil dibandingkan pemboran udara atau gas karena adanya lumpur biasa.

Pemboran aerated membutuhkan peralatan tambahan seperti kompresor injeksi udara, penyekat drillstring, pipa udara, dan separator udara-lumpur. Tetapi biaya pengadaan peralatan tambahan ini bisa ditekan karena penggunaan udara dan ketersediaannya di alam, membuat lumpur aerated lebih ekonomis dibandingkan jika penggunaan gas-gas pada pemboran udara atau gas.

Pemboran aerated tidak menjamin proses penyemenan pada zona sebelum zona produksi dapat berjalan lancar tanpa terjadi hilang semen. Hal ini karena lumpur aerated tidak membentuk penyekat pada zona loss. Penggunaan Lost Circulating Material (LCM), penyemenan dengan foam cement, dan mengatur densitas lumpur aerated agar lebih tinggi dari tekanan formasi tanpa menyebabkan hilang sirkulasi akan mengatasi masalah ini.

Perhitungan Aerated

Analisa sumur produksi dilakukan dengan membuat beberapa kurva diagnosa produksi yang dapat menggambarkan mekanisme kerja sumur produksi secara umum, dan dibuat untuk setiap sumur produksi. Data yang diperlukan untuk membuat plot diagnosa tersebut adalah produksi per bulan untuk minyak dan air. Selain itu diperlukan sejarah umum setiap sumur meliputi tanggal-tanggal dilakukannya kerja ulang, sejarah umum lapangan seperti karakteristik umum dari reservoir, dan tanggal-tanggal kejadian penting pada lapangan tersebut, misalnya pemboran sisipan, pemasangan instalasi waterflood, dan lain-lain. Sejarah lapangan dan sejarah sumur nantinya akan menjelaskan penyimpangan yang terjadi pada plot diagnosa produksi.

Metoda Pembuatan Lumpur Aerated

Pembuatan lumpur aerasi terbagi menjadi 3 jenis berdasarkan cara menginjeksikan udara kedalam lumpur, yaitu:

1. Injeksi udara melalui standpipe adalah metoda yang paling umum dilakukan pada pemboran aerated yaitu dengan menginjeksikan udara melalui standpipe.

Faktor pembatas pada metode ini adalah kemampuan memampatkan udara pada peralatan permukaan dimana tekanan injeksi operasional terbatas pada tekanan 1250 psi. Tekanan injeksi ini dapat mencapai kedalaman sumur bor 8000 ft sampai dengan 9000 ft. Dibawah tekanan operasional ini, tekanan injeksi pada standpipe akan terlalu tinggi untuk diatasi tekanan udara dari kompressor.

2. Injeksi udara adalah Parasite string, yaitu pipa tambahan yang menempel pada casing intermediate dan berfungsi menginjeksikan udara kedalam annulus diantara casing dan drillpipe.

Penentuan kedalaman titik injeksi parasite string berdasarkan antisipasi penurunan tekanan maksimum untuk mencegah terjadinya hilang sirkulasi. Total penurunan tekanan adalah fungsi dari kedalaman tubing, perbandingan udara dan lumpur, dan densitas lumpur.

3. Injeksi melalui jet subs merupakan kombinasi dua cara injeksi diatas. Injeksi dilakukan melalui beberapa jet sub pada drillstring. Penempatan jet sub berdasarkan perbedaan densitas lumpur dan kedalaman sumur total dan pada posisi drillstring masih berada di dalam casing intermediate. Menempatkan jet sub ketika drillstring berada di annulus terbuka (tanpa casing) akan menyebabkan washout.

4. Untuk sumur yang dalam (10.000 ft atau lebih) memerlukan dua atau lebih subs tergantung beberapa tekanan dasar sumur yang diinginkan.

Metodologi Penelitian

Lumpur aerated merupakan lumpur yang memberikan kondisi underbalanced yang terdiri dari fasa gas dan fasa cairan. Densitas lumpur aerated antara 3-7 Pound Per Gallon (ppg). Fasa gas yang diinjeksikan kedalam lumpur dasar berfungsi untuk mengurangi densitas lumpur dasar yang digunakan.

Volume Gas Injeksi

Perhitungan laju alir teoritikal dilakukan dengan beberapa rumus. Perhitungan dilakukan dengan rumus Darcy untuk aliran steady state serta korelasi Standing. Sebelum menghitung laju alir, terlebih dahulu dihitung tekanan alir dasar sumur.

$$V_{gp} = V_{gs} \frac{T_2 \times P_1}{T_1 \times P_2}$$

Densitas Aerated dan Laju Volumetrik Udara

Densitas gas juga akan berubah terhadap kondisi tekanan dan temperatur pada kedalaman tertentu. Jika gravity gas (s) sama dengan 1, maka densitas gas (ρ_{gs}) pada kondisi permukaan dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\rho_A = \frac{(\rho_1 \times Q_1) + (\rho_{gp} \times Q_{gp})}{(Q_{gp} + Q_1)}$$

Fraksi Cairan dalam Lumpur Aerated

$$F_{lo} = \frac{V_{lo}}{V_T} = \frac{V_{lo}}{V_{go} + V_{lo}}$$

$$F_{lp} = \frac{V_{lo}}{\left\{ F_{lo} + \frac{(1 - F_{lo})}{\left(\frac{P}{P_o}\right)} \right\}}$$

$$F_{go} = \frac{V_{go}}{V_T} = \frac{V_{go}}{V_{go} + V_{lo}}$$

$$F_{gp} = \frac{F_{go}}{\left\{F_{go} + (1 - F_{go})x\left(\frac{P}{P_0}\right)\right\}}$$

$$F_{gp} + F_{lp} = 1$$

Viskositas Lumpur *Aerated*

$$\mu_A = (F_{gp} \cdot \mu_{gp}) + (1 - F_{gp}) \cdot \mu_1$$

Kecepatan dan Pola Aliran Lumpur *Aerated*

Kecepatan lumpur dalam drillstring (V_p):

$$V_p = \frac{24.5 \times QA}{Dip^2}$$

Kecepatan lumpur dalam annulus (V_{ann}):

$$V_{ann} = \frac{24.5 \times QA}{(Dh^2 - Dop^2)}$$

Dengan mengetahui kecepatan lumpur *aerated* maka pola aliran lumpur *aerated* dapat diperkirakan dengan menggunakan *Reynold Number*.

Untuk aliran *drillstring*:

$$N_{re} = \frac{15,47 \times Dip \times \rho_A \times v_p}{\mu_A}$$

Untuk aliran di annulus:

$$N_{re} = \frac{15,47 \times Dep \times \rho_A \times v_{ann}}{\mu_f}$$

Secara teoritis, aliran akan laminar jika N_{re} kurang dari 2000, transisi jika N_{re} lebih dari 2000 atau kurang dari 4000 dan turbulen jika N_{re} lebih dari 4000. Aliran laminar tidak baik untuk pengangkatan serbuk bor karena pola kecepatan aliran di pinggir lubang lebih rendah sehingga serbuk bor akan cenderung turun kembali.

Konsentrasi *Cutting* (Cc) di Annulus

$$Cc = \frac{1}{60} \times \frac{ROP \times Dh^2}{(Vann - Vt) \times (Dh^2 - ODp^2)}$$

Dengan besarnya harga Cc kurang dari 5%, maka besarnya harga Cc sudah pada kondisi optimum.

Transport Cutting Ratio (Ft)

$$Ft = \frac{Vann - Vt}{Vann} \times 100\%$$

Dengan menandakan besarnya harga Ft yang lebih besar dari 80% maka hal ini menandakan serbuk bor sudah dapat naik ke permukaan.

Pengangkatan Serbuk Bor

Berdasarkan pengalaman di banyak lapangan, konsentrasi kritis serbuk bor (Cc) didalam lubang bor yang diijinkan adalah tidak lebih 5% agar tidak terjadi masalah pemboran yang berhubungan dengan pembersihan lubang bor. Berarti dibutuhkan kecepatan kritis (Vc) untuk mengeluarkan serbuk bor dari lubang bor agar konsentrasi cutting didalam annulus tidak melebihi konsentrasi kritis (Cc).

$$Cc = (0,01778 \times ROP) + 0,505$$

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

Sementara serbuk bor sendiri mempunyai kecenderungan untuk bergerak berlawanan arah dengan fluida pemboran atau disebut dengan kecepatan terminal serbuk bor (Vt).

Dalam aliran laminar:

$$Vt = 4980 \times dc \times \left(\frac{\rho c - \rho A}{\mu A} \right)$$

Dalam aliran transisi:

$$Vt = 175 \times dc \times \left(\frac{(\rho c - \rho A)^{\frac{2}{3}}}{(\rho A \times \pi A)^{\frac{2}{3}}} \right)$$

Dalam aliran turbulen:

$$Vt = 92,6 \times \sqrt{dc \left(\frac{\rho c - \rho A}{\rho A} \right)}$$

dengan demikian pembersihan lubang bor akan cukup baik jika kecepatan lumpur aerated di annulus (V_{ann}) melebihi kumulatif kecepatan kritis (Vt) serbuk bor.

$$V_{ann} = Vc + Vt$$

Kecepatan terminal serbuk bor pada lintasan vertikal berbeda dengan kecepatan terminal pada lintasan berarah. Kecepatan minimum lumpur di annulus untuk mengangkat serbuk bor yang terdapat dalam lubang bor pada lintasan berarah dapat ditentukan dengan menggunakan metode Rudi Rubiandini.

Untuk $\theta \leq 45^\circ$

$$V_{min} = Vc + \left[1 + \frac{\theta(600-RPM) \times (3+\rho l)}{202500} \right] \times Vt$$

Untuk $\theta \geq 45^\circ$

$$V_{min} = Vc \times \left[1 + \frac{(600-RPM) \times (3+\rho l)}{4500} \right] \times Vt$$

dengan menggunakan persamaan tersebut dapat diketahui apakah baik tidaknya pengangkatan serbuk bor dari annulus. Pengangkatan serbuk yang cukup baik jika kecepatan di annulus lebih besar dari kecepatan minimum ($V_{ann} > V_{min}$).

Hasil dan Pembahasan

Parameter-parameter *aerated drilling* yang berpengaruh terhadap pengangkatan *cutting* dalam lubang bor pada zona total loss adalah kecepatan fluida sirkulasi didalam annulus (V_{ann}), kecepatan kritis serbuk bor (Vc), kecepatan terminal serbuk bor (Vt), densitas fluida sirkulasi (ρ), dan viskositas fluida sirkulasi (μ). Pembersihan lubang bor akan lebih baik jika kecepatan fluida sirkulasi di annulus (V_{ann}) melebihi dari kecepatan terminal kritis (V_{min}) dan kecepatan terminal serbuk bor (Vt). Tekanan hidrostatik yang ada di lubang annulus dibuat dalam kesetimbangan dengan tekanan formasi pada zona loss di lubang sumur.

Tabel 1 Hasil Perhitungan Evaluasi pada Sumur N

DEPTH		EVALUASI						
		Vann (fpm)	Vmin (fpm)	ρ (ppg)	Qgs (scfm)	Ft (%)	nRe	Cc (%)
m	ft							
1028	3373	182.3	96.8	8.33	1500	80.1	2150	0.92
1707	5601	205.1	79.2	8.33	1000	94.2	2056	1.38
2366	7763	373.0	49.7	8.33	1000	97.5	2036	0.80

Tabel 4.9 Hasil Perhitungan Optimasi pada Sumur N

DEPTH		OPTIMASI									
		Vann	Vmin	ρA	batas	Qgs	Ft	batas	Nre	Ca	batas
m	ft	fpm	fpm	ppg	minimum	scfm	%	minimum		%	max
1028	3373	182.4	162	3.69	3.00	1600.6	91.4	80.0	2251	0.0025	4.00
1707	5601	205.1	170.4	6.3	3.00	1100.2	95.8	80.0	2556	0.005	4.00
2366	7763	373.0	277.3	6.80	3.00	1100.18	98.0	80.0	2336	0.0010	4.00

Pada trayek pemboran 17 1/2" di kedalaman 1028 mKU telah diinjeksikan udara sebesar 1500 scfm dan MFI sebesar 928 gpm. Didapatkan kecepatan di annulus (Vann) sebesar 182.3 fpm, nilai kecepatan minimum (Vmin) sebesar 96.8 fpm. Nilai tersebut memperlihatkan bahwa pengangkatan *cutting* sudah baik karena nilai Vann lebih besar dari Vmin. Hasil perhitungan konsentrasi sebuk bor (Cc) didapat 0.92%. Konsentrasi sebuk bor (Cc) yang lebih kecil dari 5% dianggap cukup baik. Nilai *transport cutting ratio* (Ft) sebesar 80.1% menunjukkan *transport ratio* sudah optimum karena lebih besar dari 80%. Dari nilai tersebut didapat harga nRe 2150, berarti bahwa aliran yang terjadi pada zona total loss ini adalah transisi.

Hasil perhitungan diperoleh laju injeksi udara di permukaan (Qgs) sebesar 1600.2 scfm. Vann sebesar 182.4 fpm dan Vmin serbuk bor sebesar 162 fpm. Hal tersebut menunjukkan Vann lebih besar dari Vmin. Pola aliran yang terjadi pada optimasi ini adalah aliran transisi dengan nilai rata-rata bilangan nRe adalah 2251 (Bilangan nRe lebih dari 2000 dan kurang dari 4000). Hal ini dinilai cukup baik karena lumpur *aerated* tidak merusak *mud cake* pada dinding sumur dan *cutting* dapat terbawa seluruhnya hingga ke permukaan. Optimum pengangkatan serbuk bor dapat terlihat dari nilai konsentrasi cutting (Cc) di annulus sebesar 0.0025% menunjukkan dibawah 5%, dan pada *transport cutting ratio* (Ft) perhitungan sebesar 91.4% yang lebih besar dari 80%, menunjukkan konsentrasi cutting (Cc) dan *ratio transport cutting* (Ft) di annulus dapat terangkat ke permukaan.

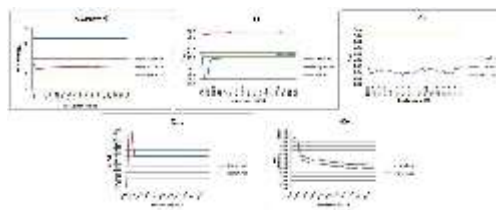
Pada trayek pemboran 12 1/4" di kedalaman 1707 mKU, telah diinjeksi udara sebesar 1000 scfm dan MFI 792 gpm, diperoleh kecepatan di annulus (Vann) sebesar 205.1 fpm, dan kecepatan minimum (Vmin) sebesar 79.2 fpm. Nilai parameter tersebut memperlihatkan bahwa pengangkatan *cutting* sudah baik untuk di zona *loss* karena nilai Vann lebih besar dari Vmin. Hasil perhitungan konsentrasi serbuk bor (Cc) didapat 1.38%, untuk konsentrasi serbuk bor (Cc) lebih kecil dari 5% cukup baik untuk pengangkatan serbuk bor untuk naik ke permukaan. Kemudian dengan harga *transport cutting ratio* (Ft) sebesar 94.2% ini menandakan *transport cutting ratio* sudah cukup optimum karena lebih besar dari 80%. Dari nilai harga nRe yaitu 2056 berarti bahwa aliran yang terjadi pada zona total *loss* ini adalah aliran transisi (Bilangan nRe lebih dari 2000 dan kurang dari 4000).

Hasil perhitungan diperoleh laju injeksi udara di permukaan (Qgs) sebesar 1100.2 scfm. Vann sebesar 205.1 fpm dan Vmin serbuk bor sebesar 170.4 fpm. Hal tersebut menunjukkan Vann lebih besar dari Vmin. Pola aliran yang terjadi pada optimasi ini adalah aliran transisi dengan nilai rata-rata bilangan nRe adalah 2556 (Bilangan nRe lebih dari 2000 dan kurang dari 4000). Hal ini dinilai cukup baik karena lumpur *aerated* tidak merusak *mud cake* pada dinding sumur dan *cutting* dapat terbawa seluruhnya hingga ke permukaan. Optimum pengangkatan serbuk bor dapat terlihat dari nilai konsentrasi cutting (Cc) di annulus sebesar 0.0050% menunjukkan dibawah 5%, dan pada *transport cutting ratio* (Ft) perhitungan sebesar 95.8% yang lebih besar dari 80%, menunjukkan konsentrasi cutting (Cc) dan *ratio transport cutting* (Ft) di annulus dapat terangkat ke permukaan.

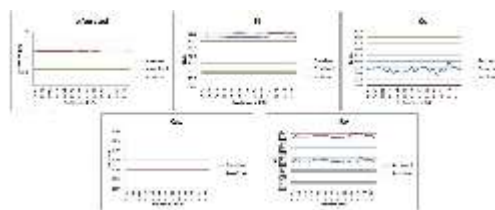
Pada trayek pemboran 9 5/8" di kedalaman 2366 mKU telah diinjeksikan udara sebesar 1000 scfm dan MFI sebesar 901 gpm. Didapatkan kecepatan di annulus (Vann) sebesar 373 fpm, nilai kecepatan minimum (Vmin) sebesar 49.7 fpm. Nilai tersebut memperlihatkan bahwa pengangkatan *cutting* sudah baik karena nilai Vann lebih besar dari Vmin. Hasil perhitungan konsentrasi sebuk bor (Cc) didapat 0.80%. Konsentrasi

sebuk bor (Cc) yang lebih kecil dari 5% dianggap cukup baik. Nilai *transport cutting ratio* (Ft) sebesar 97.5% menunjukkan *transport ratio* sudah optimum karena lebih besar dari 80%. Dari nilai tersebut didapat harga nRe 2036, berarti bahwa aliran yang terjadi pada zona total loss ini adalah transisi. Hal ini dinilai cukup baik karena lumpur *aerated* tidak merusak *mud cake* pada dinding sumur dan *cutting* dapat terbawa seluruhnya hingga ke permukaan.

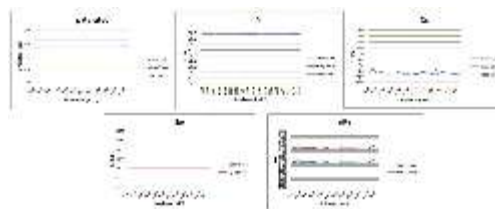
Hasil perhitungan diperoleh laju injeksi udara di permukaan (Qgs) sebesar 1100.18 scfm. Vann sebesar 373 fpm dan Vmin serbuk bor sebesar 277.3 fpm. Hal tersebut menunjukkan Vann lebih besar dari Vmin. Pola aliran yang terjadi pada optimasi ini adalah aliran transisi dengan nilai rata-rata bilangan nRe adalah 2336 (Bilangan nRe lebih dari 2000 dan kurang dari 4000). Hal ini dinilai cukup baik karena lumpur *aerated* tidak merusak *mud cake* pada dinding sumur dan *cutting* dapat terbawa seluruhnya hingga ke permukaan. Optimum pengangkatan serbuk bor dapat terlihat dari nilai konsentrasi cutting (Cc) di annulus sebesar 0.0010% menunjukkan dibawah 5%, dan pada *transport cutting ratio* (Ft) perhitungan sebesar 98% yang lebih besar dari 80%, menunjukkan konsentrasi cutting (Cc) dan *ratio transport cutting* (Ft) di annulus agar dapat terangkat ke permukaan.



Gambar 1 Grafik Perbandingan Hasil Evaluasi dan Optimasi Trayek 17 1/2"



Gambar 2 Grafik Perbandingan Hasil Evaluasi dan Optimasi Trayek 12 1/4"



Gambar 3 Grafik Perbandingan Hasil Evaluasi dan Optimasi Trayek 9 5/8"

Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan penerapan metode *aerated drilling* pada trayek 17 1/2", 12 1/4", dan 9 5/8" di sumur N lapangan panas bumi K, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai parameter hasil perhitungan evaluasi dan optimasi penggunaan *aerated drilling* pada trayek 17 1/2", 12 1/4", dan 9 5/8" menunjukkan kecepatan alir fluida di annulus (Vann) lebih besar dari kecepatan minimum pengangkatan cutting (Vmin). Evaluasi pada trayek 17 1/2" di kedalaman 1028 mKU (3373 ft) yaitu Vann sebesar 182.3 fpm dan Vmin sebesar 96.8 fpm, kemudian hasil optimasinya menunjukkan Vann sebesar 182.4 fpm dan Vmin sebesar 162 fpm. Evaluasi pada trayek 12 1/4" di kedalaman 1707

- mKU (5601 ft) yaitu Vann sebesar 205.1 fpm dan Vmin sebesar 79.2 fpm, kemudian hasil optimasinya menunjukkan Vann sebesar 205.1 fpm dan Vmin sebesar 170.4 fpm. Evaluasi pada trayek 9 5/8" di kedalaman 2366 mKU (7763 ft) yaitu Vann sebesar 373 fpm dan Vmin sebesar 49.7 fpm, kemudian hasil optimasinya menunjukkan Vann sebesar 373 fpm dan Vmin sebesar 277.3 fpm.
2. Nilai konsentrasi *cutting* (Cc) hasil perhitungan evaluasi dan optimasi penggunaan *aerated drilling* pada trayek 17 1/2", 12 1/4", dan 9 5/8" menunjukkan lebih kecil dari 4%. Evaluasi pada trayek 17 1/2" di kedalaman 1028 mKU (3373 ft) yaitu sebesar 0.92%, kemudian hasil optimasinya sebesar 0.0025%. Evaluasi pada trayek 12 1/4" di kedalaman 1707 mKU (5601 ft) yaitu sebesar 1.38%, kemudian hasil optimasinya sebesar 0.0050%. Evaluasi pada trayek 9 5/8" di kedalaman 2366 mKU (7763 ft) yaitu sebesar 0.80%, kemudian hasil optimasinya sebesar 0.0010%.
 3. Nilai *Transport Cutting Ratio* (Ft) hasil perhitungan evaluasi dan optimasi penggunaan *aerated drilling* pada trayek 17 1/2", 12 1/4", dan 9 5/8" menunjukkan lebih besar dari 80%. Evaluasi pada trayek 17 1/2" di kedalaman 1028 mKU (3373 ft) yaitu sebesar 80.1%, kemudian hasil optimasinya sebesar 91.4%. Evaluasi pada trayek 12 1/4" di kedalaman 1707 mKU (5601 ft) yaitu sebesar 94.2%, kemudian hasil optimasinya sebesar 95.8%. Evaluasi pada trayek 9 5/8" di kedalaman 2366 mKU (7763 ft) yaitu sebesar 97.5%, kemudian hasil optimasinya sebesar 98.0%.
 4. Nilai *Reynold Number* (nRe) hasil perhitungan evaluasi dan optimasi penggunaan *aerated drilling* pada trayek 17 1/2", 12 1/4", dan 9 5/8" menunjukkan pola aliran di ketiga trayek tersebut transisi. Evaluasi pada trayek 17 1/2" di kedalaman 1028 mKU (3373 ft) yaitu sebesar 2150, kemudian hasil optimasinya sebesar 2251. Evaluasi pada trayek 12 1/4" di kedalaman 1707 mKU (5601 ft) yaitu sebesar 2056, kemudian hasil optimasinya sebesar 2556. Evaluasi pada trayek 9 5/8" di kedalaman 2366 mKU (7763 ft) yaitu sebesar 2036, kemudian hasil optimasinya sebesar 2336.
 5. Parameter yang harus dioptimumkan pada penerapan *aerated drilling* ini adalah peningkatan debit pompa lumpur (Qgs) dan tekanan pompa lumpur, serta penurunan densitas lumpur *aerated*.

Daftar Pustaka

Arijanto Salmoen Wargadinata., *Buku Penuntun Praktikum Peralatan Bor & Produksi Menggambar Teknik*, Laboratorium Konservasi Peralatan Jurusan Teknik Perminyakan Universitas Trisakti, Jakarta, 2007.

Birkisson. F., and Hole. H, *Aerated Fluids for Drilling of Geothermal Well*, Proceedings European Geothermal Congress, Germany, 2007

Budi Kesuma Adi Putra, I., *Drilling Practice With Aerated Drilling Fluid: Indonesian and Icelandic Geothermal Fields*, Geothermal Training Programme, Iceland, 2008

Lyons, C. W., *Air and Gas Drilling Manual*, Gulf Publishing Company, Socorro, New Mexico

PT. Pertamina Geothermal Energy, *Prognosis Geologi Sumur Pengembangan Area Geothermal Lumut Balai, Sumatera Selatan*, Pertamina Geothermal Energy, Jakarta, 2014.

Rubiandini, Rudi. *Teknik Operasi Pemboran*, Departemen Teknik Perminyakan Fakultas Ilmu Kebumihan dan Teknologi Mineral Institut Teknologi Bandung, Bandung.
Subiatmono, P., Yulianto, Irwan, Kennedy, *Penerapan Teknologi Pemboran Underbalanced Pada Sumur Lapangan Jatibarang, Pertamina DO Hulu Cirebon*, Proceedings Simposium Nasional IATMI, Yogyakarta, 2001.