



**ANALISIS PENGGUNAAN AERATED DRILLING FLUID SAAT PROSES
PENGANGKATAN CUTTING SUMUR GEOTHERMAL HULULAIS**

**AERATED DRILLING FLUID CUTTING LIFTING ANALYSIS AT HULULAIS
GEOTHERMAL WELL**

A.P.Haryadi¹, A.Suherman², Abuamat³

¹⁻³Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya

Jl. Srijaya Negara Bukit Besar, Palembang, Sumatera Selatan, 30139, Indonesia

E-mail: ¹agungputraharyadi@rocketmail.com, ²adgsuherman@gmail.com, ³iimeissy_a@yahoo.co.id

ABSTRAK

Pemboran dengan menggunakan aerated drilling fluid merupakan sebuah teknik underbalanced drilling, yang umumnya digunakan untuk meningkatkan produktivitas sumur dan dalam beberapa kasus, untuk mengatasi masalah dalam pembersihan lubang bor ketika proses pemboran berlangsung. Teknik aerated drilling terdiri dari penambahan udara yang termampatkan ke fluida pemboran (lumpur atau air). Aerated drilling fluid memiliki densitas yang rendah daripada fluida pemboran biasa pada umumnya. Hal ini menyebabkan tekanan hidrostatik didalam sumur bisa lebih rendah daripada tekanan formasi. Penggunaan aerated drilling fluids memungkinkan untuk pengurangan losses ketika mendapati kondisi lost circulation, yang mana hal ini dapat menutup formasi melalui berkurangnya nilai porositas dan permeabilitas dari masuknya cutting ke formasi. Dengan berkurangnya kerusakan formasi, maka akan dapat meningkatkan nilai produktivitas sumur nantinya. Ketika pemboran menggunakan aerated drilling fluid, tekanan dan kecepatan annular haruslah dikontrol untuk menjaga kondisi underbalanced. Penentuan tekanan dan kecepatan annular ketika proses pemboran dengan aerated drilling fluid sangatlah penting saat merencanakan kegiatan pemboran dan juga penting dalam operasi pemboran agar tercapainya kondisi lubang yang bersih.

Kata-kata kunci: Aerated, Underbalanced, Annular, Lost Circulation

ABSTRACT

Drilling with aerated drilling fluid is an underbalanced drilling technique which is generally used for increasing well productivity and in many cases to overcoming any troubles in wellbore cleaning while drilling. aerated drilling technique consists of air additional compressed into drilling fluid (mud or water). Aerated drilling fluid has lower density than conventional drilling fluid. This causes hydrostatic pressure in the wellbore gets lower than formation pressure. Using of aerated drilling fluid gives possibility in losses decreasing when gets lost circulation condition that will close formation in decreasing porosity and permeability value by getting those cuttings into the formation. By decreasing formation damage, it will increasing well productivity value later. When using aerated drilling fluid, the pressure and annular velocity should be maintained to keep it in underbalanced condition. Pressure and annular velocity determination while drilling process with aerated drilling fluid are necessary in planning on drilling activity and also necessary in drilling operation which can reach better hole cleaning condition.

Keywords : Aerated, Underbalanced, Annular, Lost Circulation

PENDAHULUAN

Negara Indonesia kaya dengan berbagai sumber daya alam. Salah satunya adalah panas bumi atau biasa dikenal dengan *Geothermal Energy*. Sumber daya ini merupakan salah satu sumber daya alam terbaharukan yang pemanfaatannya berkelanjutan dan dalam waktu yang sangat lama. Upaya pemanfaatan tersebut dilakukan melalui beberapa tahapan diantaranya tahapan eksplorasi, eksploitasi, dan produksi. Selain itu dalam aktivitas pemboran juga dilakukan aktivitas *logging* (analisis material batuan) serta analisis terhadap *cutting* melalui media lumpur pemboran [1].

Lumpur pemboran merupakan suatu cairan yang terdiri dari campuran material dan *additive* yang digunakan selama operasi pemboran berlangsung. Akibat dari sirkulasi lumpur pemboran, terjadi kerusakan pada formasi yang terkontaminasi oleh lumpur pemboran. Selama proses pemboran berlangsung, lumpur pemboran akan terus disirkulasikan hingga kegiatan pemboran selesai dilakukan [2]. Salah satu jenis campuran yang digunakan pada lumpur pemboran panas bumi adalah *aerated drilling fluid* yang menggunakan beberapa bahan campuran diantaranya berupa udara, *foam*, dan *inhibitor* yang terangkum dalam suatu metode yang disebut sebagai metode *aerated drilling* [3].

Metode *aerated drilling* termasuk kedalam suatu proses pemboran *underbalanced* dimana tekanan sumur bor secara berkala sengaja didesain agar lebih rendah dari tekanan formasi yang dibor dan biasanya diterapkan pada formasi yang memiliki zona rekahan yang tinggi dan kondisi tekanan yang tidak normal [3]. Dampak dari kondisi *underbalanced* sendiri menyebabkan fluida reservoir agar dapat masuk ke sumur bor ketika proses pemboran, dan hal itu dapat mencegah kondisi *loss circulation* atau semacamnya yang dapat menyebabkan kerusakan pada formasi [4].

Komponen *aerated drilling fluid* terdiri dari dua bagian utama, yaitu udara sebagai fluida kompresibel yang volumenya dipengaruhi tekanan dan temperature, dan lumpur biasa. Atau dalam beberapa penggunaannya yaitu menggunakan campuran udara dengan air dan beberapa zat kimia tambahan. Sehingga kedua komponen ini pada akhirnya bercampur dengan perbandingan tertentu. Dengan demikian *aerated drilling fluid* berdasarkan kedua komponen tersebut dapat dianalisis sifat-sifat turunannya. Pengontrolan komponen-komponen lumpur saat sirkulasi berlangsung dilakukan dengan melakukan pengamatan terhadap hidrolika lumpur tersebut [5].

Pengamatan terhadap hidrolika *Aerated Drilling Fluid* tidak jauh berbeda halnya dengan hidrolika lumpur pemboran biasa. Beberapa parameter tentunya dapat mempengaruhi hidrolika fluida pemboran terutama

dalam hal pengangkatan *cutting*, pemeliharaan rangkaian sirkulasi pemboran, serta dalam hal pencegahan kerusakan pada formasi. Sehingga beberapa parameter tertentu dapat disesuaikan dengan dilakukan beberapa metode perhitungan untuk mendapatkan nilai efektivitas penggunaan fluida pemboran tersebut [6].

Biasanya, target sumur pada energi panas bumi adalah bidang patahan, rekahan, ataupun celahan yang memiliki permeabilitas tinggi dan yang terhubung langsung dengan reservoir panas bumi. Ketika pemboran berlangsung, tekanan fluida pemboran biasanya lebih tinggi daripada tekanan formasi yang dapat menyebabkan kehilangan sirkulasi saat fluida berhadapan langsung dengan zona rekahan ini [7]. Kondisi kehilangan sirkulasi dalam operasi pemboran menyebabkan aktivitas pembersihan yang buruk pada lubang terhadap serpihan bor yang akhirnya dapat menyebabkan kondisi pipa terjepit. Penggunaan *aerated drilling fluid* salah satu tujuannya yaitu membantu dalam pembersihan lubang bor, dan juga untuk menjadikan zona rekahan tersebut agar bersih dan terbuka hingga proses produksi nantinya [8].

Efektifitas pengangkatan serpihan pemboran ditunjukkan dengan nilai konsentrasi serpihan bor itu sendiri di *annulus*. Nilai konsentrasi dibawah 5% menunjukkan bahwa pengangkatan serpihan bor sudah optimal. Sedangkan ditinjau dari rasio pengangkatan serpihan bor didapat dari selisih kecepatan *annulus* dengan kecepatan terminal terhadap kecepatan *annulus* sendiri. Nilai rasio diatas 80% menandakan serpihan pemboran sudah dapat naik ke permukaan [9].

Pada akhirnya didapat nilai kecepatan *annulus*, kecepatan terminal kecepatan kritis, dan kecepatan minimum pada jalur berarah yang menjadi dasar perhitungan untuk mengevaluasi nilai konsentrasi serpihan bor dan rasio pengangkatan serpihan bor. Pengangkatan yang baik dalam beberapa metode perhitungan juga didapat jika kecepatan di *annulus* lebih besar dari kumulatif kecepatan kritikal dan kecepatan terminal [10].

METODE PENELITIAN

Evaluasi yang dilakukan dalam penelitian ini diawali dengan mengevaluasi laju alir udara terhadap lumpur dasar menggunakan perhitungan konversi satuan *scfm* (*standart cubic feet per minute*) menjadi *scf/bpm* (*standart cubic feet per barrel per minute*). Kemudian dilakukan perbandingan laju alir lumpur aerasi terhadap kecepatan *cutting* di *annulus* menggunakan rumus perhitungan kecepatan *annulus* yang membutuhkan nilai injeksi udara yang telah didapat sebelumnya. Pada akhirnya dilakukan evaluasi penggunaan lumpur aerasi dalam pengangkatan *cutting* di zona *loss circulation* yang menggunakan 2 indikasi *hole cleaning* berupa



Cutting Concentration dan Transport Cutting Ratio. Jika nilai yang didapat belum memenuhi kedua indikasi tersebut maka akan dilakukan perhitungan koreksi efektifitas penggunaan fluida aerasi untuk mendapatkan nilai jumlah injeksi udara yang efektif dalam pengangkatan cutting dari lubang bor menggunakan rumus perhitungan-perhitungan sebelumnya. Untuk penentuan nilai laju alir Aerated Drilling Fluid, digunakan metode rumus Rule of Thumb sebagai berikut:

1. Besar Injeksi Udara

$$Q_A = \frac{42 \times D \times aMW - 808 (0,052 \times D \times dMW + 14,7 - P_s)}{4,071 \times (T + 460) \ln \left(\frac{0,052 \times D \times g_g + 14,7}{P_s} \right) - 0,0764 \times D \times g_g} \quad (1)$$

Keterangan: Q_A = laju injeksi udara, scf/bbl
D = kedalaman sumur
aMW = actual Mud Weight, ppg
dMW = desired Mud Weight, ppg
 P_s = tekanan permukaan, psia
T = suhu rata-rata, °F
 g_g = gas gravity

2. Suhu Rata-Rata

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

Keterangan: T_s = Temperatur permukaan, °F
 T_g = Temperatur gradient, °F/100

3. Jumlah Udara Dalam Injeksi Fluida

$$Q_{tot} = \frac{Q_l}{42} \times Q_A \quad (3)$$

Keterangan: Q_l = laju lumpur dasar, gpm

Perhitungan yang digunakan berupa perhitungan injeksi udara, kecepatan annulus, kecepatan terminal, serta nilai indikasi Cutting Concentration dan Transport Cutting Ratio. Sedangkan langkah-langkah perhitungan untuk analisis data adalah dengan menggunakan rumus-rumus perhitungan sebagai berikut :

1. Perhitungan kecepatan annulus

$$V_{ann} = \frac{24,51 \times Q_A}{D_h^2 - D_{op}^2} \quad (4)$$

2. Perhitungan kecepatan terminal

$$V_t = 92,6 \sqrt{d_c \left(\frac{\rho_c - \rho_A}{\rho_A} \right)} \quad (5)$$

3. Perhitungan nilai Cutting Concentration

$$C_c = \frac{1}{60} \times \frac{ROP \times D_h^2}{(V_{ann} - V_t) \times (D_h^2 - D_{op}^2)} \quad (6)$$

4. Perhitungan nilai Transport Cutting Ratio

$$F_t = \frac{V_{ann} - V_t}{V_{ann}} \times 100\% \quad (7)$$

Proses analisis data dilakukan setelah mendapatkan beberapa hasil perhitungan yang telah disebutkan sebelumnya. Hingga pada akhirnya yang menjadi kesimpulan penelitian ini adalah berupa hasil analisis yang diantaranya merupakan hasil koreksi nilai acuan penggunaan aerated drilling fluid terhadap nilai Cutting Concentration dan Transport Cutting Ratio. Jika nilai yang didapat tidak memenuhi kriteria 2 indikasi tersebut maka dilakukan koreksi nilai kecepatan cutting di annulus. Pada akhirnya akan dilakukan koreksi efektifitas nilai injeksi udara minimum untuk memenuhi indikasi tersebut.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada Sumur X Lapangan Y, penggunaan aerated drilling fluid (fluida pemboran aerasi) digunakan pada saat pemboran sumur tersebut mencapai zona loss circulation. Dimana indikasi peningkatan nilai loss circulation dilihat dari beberapa gejala diantaranya adalah pengurangan secara drastis volume lumpur yang berada di tanki lumpur hisap hasil sirkulasi dari annulus sumur pemboran, berkurangnya laju alir lumpur balik pada shale shaker dan solid control equipment, berkurangnya tekanan didalam sumur, serta meningkatnya suhu sirkulasi dibawah sumur. Untuk itu, berdasarkan data yang didapat mengenai penggunaan aerated drilling fluid di Sumur X, evaluasi dilakukan dengan membuktikan penentuan laju alir lumpur aerasi dengan perhitungan baku yang digunakan pihak perusahaan, yang bersumber dari Metode Poetmann dan Bergmann, 1955. Data yang didapat diringkas berdasarkan peningkatan suhu sirkulasi bawah sumur (Bottom Hole Circulation Temperature) yang menjadi salah satu indikasi peningkatan nilai loss circulation pada kedalaman sumur tertentu di zona produksi.

Penggunaan lumpur polimer yang digunakan untuk membor formasi sebelumnya sudah tidak lagi ekonomis digunakan di zona tersebut, dikarenakan aliran lumpur yang disirkulasikan sebagian akan masuk ke dalam formasi, terlebih lagi dalam peningkatan nilai $H_{loss\ circulation}$, artinya rekahan formasi di bawah sumur ditemukan bertambah, sehingga lumpur yang disirkulasi dari mud tank volumenya dapat dilihat secara drastis menurun pada tanki lumpur penerima, dimana kehilangan lumpur tersebut mengalir ke zona $H_{loss\ circulation}$ yang semakin bertambah. Dengan demikian, peralihan penggunaan properties lumpur dari lumpur polimer menjadi lumpur aerasi sangat efisien untuk

digunakan, dimana lumpur polimer sendiri merupakan lumpur yang biasa digunakan di pemboran konvensional yang memiliki kandungan properties tambahan diantaranya seperti KCl, *Bentonite*, *Caustic Soda*, *Viscosifier*, dan lainnya sesuai kebutuhan penggunaan lumpur tersebut untuk memelihara lubang sumur dan rangkaian pemboran dari kerusakan dan bahaya yang tidak diinginkan. Sedangkan untuk lumpur aerasi sendiri merupakan lumpur berbahan dasar sebagian besar berupa air dengan kandungannya yang dikurangi dari lumpur biasa, dan nantinya akan dicampur dengan properties fluida aerasi yang berupa udara, *foam*, dan *inhibitor* sebagai anti korosif rangkaian pemboran. Untuk penentuan jumlah fluida aerasi yang diinjeksikan terhadap jumlah lumpur dasar yaitu menggunakan metode *Rule of Thumb* yang telah dijelaskan sebelumnya. Dari metode tersebut didapat nilai temperatur rata-rata sebesar 175,228 °F. Parameter tetap yang didapat dari pemboran tersebut diantaranya:

1. a_{MW} = *actual Mud Weight*, ppg = 8,33
2. d_{MW} = *desired Mud Weight*, ppg = 4,13
3. P_s = tekanan permukaan, psia = 1
4. g_g = *gas gravity* = 1

Untuk kedalaman 1300 mKu (4261,4 feet), hasil laju alir udara yang didapat adalah sebesar:

$$Q_A = \frac{42 \times 4261,4 \times 8,33 - 808 (0,052 \times 4261,4 \times 4,13 + 14,7 - 1)}{4,071 \times (175,228 + 460) \ln \left(\frac{0,052 \times 4261,4 \times 1 + 14,7}{1} \right) - 0,0764 \times 4261,4 \times 1}$$

$$Q_A = 53,62137713 \text{ scf/bpm}$$

Dengan demikian jumlah injeksi udara per *barrel* lumpur dihitung kembali ke dalam satuan jumlah injeksi udara dengan *standard cubic feet per minute* (scfm) sebagai satuannya. Rumus yang digunakan terhadap laju alir lumpur dasar didapat dengan memasukkan nilai " Q_A " sebagai nilai laju alir udara per barrel lumpur dan " Q_i " sebagai nilai laju alir lumpur yang didapat dari data sebelumnya, maka akan didapatkan hasil laju alir udara sebesar:

$$Q_{tot} = \frac{753}{42} \times 53,62137713$$

$$Q_{tot} = 961,3546182 \text{ scfm}$$

Begitu seterusnya hingga pada kedalaman terakhir penggunaan *aerated drilling fluid*. Sehingga hasil yang didapat dapat dilihat pada Tabel 1.

Laju alir lumpur di *annulus* sumur bor sendiri didapat berdasarkan perbandingan antara laju alir lumpur aerasi terhadap diameter lubang *annulus*. Sehingga selisih diameter lubang (Dh) dengan diameter luar pipa bor (Dop) juga biasa disebut sebagai diameter annulus sumur bor.

Tabel 1. Laju Alir Injeksi Udara Terhadap Lumpur Dasar

MDEPTH (M)	Mud Flow In gpm	air calc scf/bpm	air calc scfm
1300	753	53,6214	961,355
1330	753	54,5149	977,374
1360	750	55,4	989,285
1400	707	56,5488	951,905
1440	704	57,7201	967,499
1480	737	58,859	1032,83
1520	751	59,9842	1072,58
1560	769	61,0962	1118,64
1590	745	61,9211	1098,37
1630	733	63,011	1099,69
1670	761	64,0879	1161,21
1710	750	65,1526	1163,44

Diameter lubang merupakan diameter casing sumur pada zona produksi yaitu sebesar 12,25", sedangkan diameter pipa bor sebesar 5". Untuk kedalaman 1300 mKu maka didapat hasil perhitungan sebagai berikut sebagaimana pada Tabel 2:

$$V_{ann} = \frac{24,51 \times 961,355}{12,25^2 - 5^2}$$

$$V_{ann} = 18,4119757883 \text{ fpm}$$

Tabel 2. Laju Lumpur Aerasi Terhadap Kecepatan Lumpur di *Annulus*

Depth (M)	Air flow (scfm)	Vann flow(fpm)
1300	961,355	188,412
1330	977,374	191,552
1360	989,285	193,886
1400	951,905	186,56
1440	967,499	189,616
1480	1032,83	202,421
1520	1072,58	210,21
1560	1118,64	219,238
1590	1098,37	215,265
1630	1099,69	215,524
1670	1161,21	227,581
1710	1163,44	228,018



Untuk mengevaluasi seberapa efektif penggunaan lumpur aerasi di zona *loss*, beberapa sumber referensi memberikan batasan parameter-parameter tertentu untuk penggunaannya dalam mewujudkan fungsi lumpur aerasi sendiri seperti salah satunya adalah efektifitas dalam pengangkatan serpihan bor dari lubang sumur, sehingga didapat hasil pembersihan lubang sumur (*hole cleaning*) secara optimal. Beberapa parameter yang digunakan sebagai acuan diantaranya adalah nilai konsentrasi serpihan bor / *cutting concentration* (Cc) dan rasio pengangkatan serpihan bor / *Transport Cutting Ratio* (Ft). Dengan demikian, untuk mendapatkan nilai konsentrasi serpihan bor (Cc) dibutuhkan nilai *Rate of Penetration* (ROP), diameter lubang bor (sebesar 12,25”), diameter pipa bor (sebesar 5”), diameter *annulus* (selisih diameter lubang dan diameter pipa), nilai kecepatan *annulus* tiap titik kedalaman (Vann), dan nilai kecepatan terminal (Vt).

Untuk perhitungan kecepatan terminal, nilai “dc” (diameter cutting yang diinginkan) sebesar 0,2”, nilai “pc” (densitas *cutting*) sebesar 22 ppg, dan “pA” merupakan densitas lumpur aerasi sebesar 8,13 ppg. Sehingga nilai kecepatan terminal “Vt” yang didapat dengan memasukkan nilai-nilai tersebut adalah sebesar 53,05028741 fpm. Kemudian nilai tersebut dimasukkan dalam perhitungan untuk mendapatkan nilai *cutting concentration* (Cc).

Cutting concentration sendiri merupakan nilai serpihan bor yang terdapat dalam lubang *annulus* sumur bor dalam ukuran konsentrasi serpih bor. Dengan demikian, semakin kecil nilai konsentrasi yang didapat, artinya besaran serpihan bor yang terdapat dalam lubang *annulus* juga semakin kecil, dengan kata lain, lubang bersih dari serpihan bor sekaligus menunjukkan efektifitas lumpur bor dalam pengangkatan *cutting*. Dalam berbagai referensi perhitungan nilai konsentrasi serpih bor tersebut memiliki batasan nilai hasil sebesar kurang dari 5% untuk pembersihan sumur yang optimal. Sedangkan untuk nilai *transport cutting ratio* sendiri (Ft) didapat dari perbandingan antara selisih kecepatan *annulus* dan kecepatan terminal, dengan kecepatan *annulus* sendiri. nilai rasio tersebut merupakan nilai yang menunjukkan kemampuan fluida dalam pengangkatan *cutting* dari lubang bor.

Untuk nilai rasio ini beberapa referensi membatasi nilai tersebut tidak kurang dari 80%, yang menandakan pengangkatan *cutting* oleh fluida pemboran sudah optimal dan sumur juga dalam keadaan bersih. Sehingga hasil perhitungan kedua nilai tersebut (Cc dan Ft) untuk Sumur X ini dengan rumus perhitungan sebagaimana dijelaskan sebelumnya seperti pada Tabel 3.

Pada akhirnya dapat kita lihat bahwa evaluasi nilai *cutting concentration* terhadap kecepatan *annulus* dan terminal di keseluruhan titik kedalaman memiliki hasil kurang dari 5% yang berarti pada aliran injeksi udara

terhitung terhadap lumpur dasar di *annulus* sudah optimal. Namun di sisi lain, untuk evaluasi rasio pengangkatan *cutting*, nilai yang didapat masih dibawah 80%, yang berarti pengangkatan *cutting* dengan laju aliran tersebut di tiap kedalaman masih kurang efektif. Sehingga pada akhirnya perlu dilakukan koreksi dengan rumus tersebut dengan asumsi nilai rasio pengangkatan *cutting* (Ft) sebesar 80% atau 0,8. Dengan demikian, dari hasil yang didapat, kita dapat mengetahui nilai minimal mulai dari kecepatan *annulus*, perubahan efektifitas konsentrasi *cutting*, hingga besar injeksi fluida aerasi agar dapat mencapai keadaan yang optimal baik dalam pengangkatan *cutting*, maupun dalam hal pembersihan lubang bor agar zona produksi tetap terjaga kualitas dan kebersihannya. Sehingga hasil perhitungan koreksi yang dilakukan berdasarkan data-data sebelumnya dapat juga dijadikan sebagai patokan untuk penggunaan metode *aerated drilling* nantinya di waktu yang akan datang untuk meningkatkan efisiensi waktu dan hanya perlu dilakukan perhitungan pemastian untuk meningkatkan hasil yang lebih akurat.

Tabel 3. Hasil Perhitungan “Cc” dan “Ft” Terhadap Kecepatan *Annulus* dan Terminal

MDEPTH (M)	Cutt Conc %	Trans Cutt Ratio Ft
1300	0,09603	0,71843
1330	0,07942	0,72305
1360	0,07952	0,72638
1400	0,09137	0,71564
1440	0,0454	0,72022
1480	0,02945	0,73792
1520	0,10307	0,74763
1560	0,04693	0,75802
1590	0,05055	0,75356
1630	0,0517	0,75385
1670	0,03208	0,7669
1710	0,05258	0,76734

Seperti yang telah dijelaskan pada poin sebelumnya, efektifitas penggunaan fluida pemboran diantaranya diukur dari beberapa parameter acuan untuk mencapai kondisi lubang pemboran yang bersih dan produktif. Diantaranya dari beberapa sumber referensi, parameter yang penting dalam pembersihan lubang bor dari *cutting* yaitu nilai *Transport Cutting Ratio* (Ft) dan nilai *Cutting Concentration* (Cc). Berdasarkan perhitungan sebelumnya, nilai konsentrasi *cutting* yang didapat pada tiap titik kedalaman sudah optimal, namun untuk nilai rasio pengangkatan *cutting* yang didapat belum optimal. Dengan demikian, koreksi awal yang dilakukan adalah



dari nilai rasio tersebut dengan asumsi nilai rasio sebesar 80% atau 0,8, dan nilai kecepatan terminal tetap pada hasil sebesar 53,05028741. Sehingga, perhitungan yang didapat dirumuskan dengan:

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

$$0,8 = \frac{V_{ann} - 53,05028741}{V_{ann}}$$

$$53,05028741 = V_{ann} - 0,8 \times V_{ann}$$

$$53,05028741 = V_{ann} (1 - 0,8)$$

$$\frac{53,05028741}{(1 - 0,8)} = V_{ann}$$

$$V_{ann} = \frac{53,05028741}{0,2}$$

$$V_{ann} = 265,25143705$$

Sehingga dari persamaan tersebut didapat nilai kecepatan *annulus* minimal secara optimum sebesar 265,25143705 fpm. Dari hasil tersebut kemudian digunakan untuk mencari laju alir fluida aerasi yang optimal untuk menghasilkan kecepatan *annulus* yang optimal. Dengan diameter lubang sebesar 12,25" dan diameter pipa sebesar 5", maka laju alir optimum didapat sebesar:

$$265,25143705 = \frac{24,51 \times Q_A}{12,25^2 - 5^2}$$

$$Q_A = \frac{265,25143705 (12,25^2 - 5^2)}{24,51}$$

$$Q_A = 1353,4478925363 \text{ scfm}$$

Dengan demikian, laju alir fluida minimum yang diinjeksikan pada tiap titik kedalaman pada lubang sumur sebesar 12-1/4" atau 12,25" ini untuk mencapai keadaan yang optimal dalam pengangkatan *cutting* adalah sebesar 1353,45 scfm.

KESIMPULAN

Kesimpulan yang didapat dari pembahasan diatas diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Komponen *aerated drilling fluid* terdiri dari air sebagai fase kontinyu, udara sebagai fase terdispersi, dan *detergent* sebagai fase kimia untuk membentuk foam, serta *corrosion inhibitor* sebagai fase kimia tambahan.
2. Ada dua bagian yang dikontrol dalam *aerated drilling fluid*, yaitu densitas sebagai parameter rheologi fluida, serta kecepatan dan tekanan fluida sebagai parameter hidroliknya. Dimana kecepatan fluida diwakili dengan besaran scfm dari input udara dan

tekanan diwakili dengan besaran psi yang dihasilkan dari unit *primary* dan *booster compressor aerated drilling*.

3. Laju udara terhadap lumpur dasar yang diaplikasikan di Sumur X ini dilakukan secara bertahap dari 800 scfm sampai kepada peningkatannya hingga 1500 scfm bergantung pada peningkatan nilai *loss*. Sedangkan untuk laju alir lumpur dasar sendiri cenderung konstan pada nilai 700 – 780 gpm. Berdasarkan perhitungan, didapat nilai laju udara pada kedalaman 1300 mku kurang lebih sebesar 960 scfm dan pada kedalaman 1800 mku didapat hasil laju udara sebesar 1160 scfm.
4. Hasil evaluasi laju alir fluida aerasi didapat nilai kecepatan *annulus* dan kecepatan terminal yang menunjukkan kecepatan pengangkatan *cutting* dari bawah sumur, didapat sudah memenuhi kriteria nilai "Cc" dibawah 5% yang berarti lubang sumur saat sirkulasi sudah bersih dari serpihan bor. Sedangkan nilai *transport cutting ratio* sebagai efektifitas pengangkatan *cutting* didapat berkisar 71-77% yang artinya dalam hal pengangkatan *cutting* masih kurang optimal. Sehingga pada akhirnya dilakukan perhitungan kembali untuk mendapat nilai koreksi untuk mencapai parameter dalam pengangkatan *cutting*. Koreksi yang didapat berupa nilai kecepatan *annulus* dengan nilai minimal sebesar 265 fpm dan laju alir udara minimal sebesar 1353 scfm
5. Penggunaan *aerated drilling fluid* sebagai fluida sirkulasi pemboran dimulai pada kedalaman 1290 mKu dengan nilai *partial loss circulation* sebesar 3 bbl/menit hingga pada target total kedalaman pada 1803 mKu didapat nilai *partial loss circulation* lebih dari 13 bbl/menit. Pada kedalaman dengan nilai *loss* sebesar 3 bbl/m sudah diputuskan untuk menggunakan fluida aerasi untuk membantu lumpur dasar dalam mengejar jumlah minimal dalam penggunaannya saat sirkulasi lubang bor. Pada akhirnya fluida aerasi digunakan dari kedalaman 1290 mKu sampai dengan kedalaman target 1803 mKu. Nilai *partial loss* terkecil pada rentang kedalaman tersebut sebesar 0,1 – 0,7 bbl/menit di kedalaman 1327 – 1346 mKu, dan nilai terbesar merupakan nilai yang lebih besar dari 17 bbl/menit dan lebih sering ditemukan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anonim. (1995). *Drilling Engineering Workbook*. Houston, United States of America: Baker Hughes INTEQ Training & Development
- [2] Anonim. (2017). *Aerated Drilling Flow Modelling Report*. Jakarta: Air Drilling Operation Team, 10 Mei 2017.
- [3] Dargahi ,F., Gholami ,Y., dan Zendehboudi ,K. (2016). National Iranian Drilling Industry Congress Under Balanced Drilling (Ubd) Technology. Iran: *Journal of Engineering Technology*. Vol. 5, Issue 1, pp. 37-48.



- [4] Fandari ,A.E., Daryanto ,A., dan Suprayitno ,G. (2014). Pengembangan Energi Panas Bumi yang Berkelanjutan. Bogor: *Jurnal Ilmiah Semesta Teknik*, Vol. 17, No. 1, 68-82.
- [5] Gatlin, Carl. (1960). *Petroleum Engineering: Drilling and Well Completions*. Texas, United States of America: Department of Petroleum Engineering, The University of Texas.
- [6] Hole. (2006). *Aerated Fluids for Drilling of Geothermal Wells*. Iceland: United Nations University.
- [7] Kesuma, B. (2008). *Drilling Practice with Aerated Drilling Fluid: Indonesian and Icelandic Geothermal Fields*. Iceland: United Nations University.
- [8] Mefri, Samuel. (2012). *Peran Wellsite Geologist Pada Aktivitas Pemboran Eksplorasi di lapangan "Melia" Cekungan salawati Kabupaten Sorong, Papua Barat*. Yogyakarta: Teknik Geologi. Universitas Pembangunan Nasional Veteran.
- [9] Nugroho, W.A., Sumantri ,M., dan Hermawan ,S. (2017). Design And Application of Aerated and Foam Drilling Fluid, Case Study in Drilling Operation in Indonesia. *Fourty first Annual Convention & Exhibition. Pertamina Drilling Services Indonesia*. May 2017.
- [10] Verrelli, D.I., Bruckard, W.J., Koh, P.T.L., Schwarz, M.P., dan Follink, B. (2014). Particle Shape Effects in Flotation. Part 1: *Microscale Experimental Observations*. *Miner. Eng.*, vol. 58, pp. 80-89