

## **DESIGN PRESSURE OPERATING WINDOW PADA OPERASI AERATED DRILLING UNTUK SUMUR GEOTHERMAL PT AIR DRILLING ASSOCIATES**

Rial Dwi Martasari, Erlangga dan Winarto

Akademi Minyak dan Gas Balongan (AKAMIGAS) Balongan, Indramayu

Email: rialdwim@gmail.com, erlanggaSATU@gmail.com

### **Abstrak**

*Aerated drilling dinilai baik dipakai untuk menembus zona potensi pada sumur panas bumi. Penembusan zona potensi ini sangatlah penting untuk diketahui agar pemboran dapat berjalan dengan optimal. Analisa performa aerated drilling dengan menggunakan pressure window telah ditentukan sebagai acuan praktek di lapangan untuk sumur pemboran geothermal agar dalam operasinya dapat berjalan dengan lancar dan terhindar dari masalah lubang sumur. Sumur panas bumi yang didominasi rekahan didalamnya cenderung mempengaruhi kemampuan lumpur dalam bersirkulasi pada saat pemboran berlangsung. Penentuan pressure window dibuat dengan cara memberikan rentang volume yang tepat antara fasa gas dan cair dalam sistem sirkulasi lumpur. Kesesuaian rentang volume tersebut dapat dinilai dengan melihat kemampuan pembersihan lubang sumur dan peralatan pendukung dipermukaan agar mendapatkan hasil sirkulasi lumpur yang optimal. Uji coba dilakukan pada simulasi pemboran aerated drilling pada sumur geothermal dengan kedalaman reservoir 1400 m untuk memasang casing liner di kedalaman 900 m dalam trayek 12-1/4", 9-5/8" dan 7-7/8". Pada campuran 5-7 ppg akan membuat lumpur bor menjadi lebih memiliki kekuatan untuk mengangkat cutting. Nilai injeksi gas dari 100-2400 scfm serta nilai laju alir lumpur sebesar 400-900 gpm menunjukkan kemampuan pengangkatan cutting yang optimal. Hasil ini kemudian dimasukkan ke dalam grafik pressure window. Demikian aerated drilling dinilai memiliki performa yang baik dalam mengatasi masalah lubang bor pada zona reservoir panas bumi yang penuh rekahan. Pengujian dilakukan dalam simulasi pemboran aerasi pada sumur geothermal dengan trayek 12-1/4" di kedalaman 1750 meter, trayek 9-5/8" di kedalaman 2025 meter dan trayek 7-7/8" di kedalaman 2900 meter diprediksi terdapat zona rekahan pada setiap kedalaman tersebut.*

**Kata Kunci** : *Aerated Drilling, Pemboran, Geothermal Dan Pressure Window*

### **Pendahuluan**

Banyak cara yang digunakan pada pemboran sumur panas bumi seperti, *blind drilling* atau pemboran yang membuang *cutting* ke dalam formasi yang memiliki rekahan untuk menyumbat rekahan sehingga dapat meningkatkan sirkulasi agar *cutting*

tidak menghambat operasi pemboran. Kini teknologi terus berkembang sampai adanya teknik *aerated drilling* yang mampu menjaga *reservoir* tidak tersumbat dengan *cutting* dan menjaga sirkulasi tetap terjaga.

Di dalam pemboran menggunakan *aerated drilling* penentuan *pressure window* ini akan menjadi topik yang layak untuk diangkat dalam penulisan laporan ilmiah ini. Dengan adanya *pressure window* maka teknisi dilapangan dapat memiliki referensi yang baik dalam pemberian volume antara fasa gas dan cair yang efektif untuk menangani masalah pemboran yang umumnya terjadi dalam sumur panas bumi seperti hilang sirkulasi dan pipa terjepit.

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk mengetahui parameter yang digunakan untuk mengevaluasi nilai *pressure window* pada operasi pemboran aerasi dan mengetahui perbandingan volume injeksi lumpur dengan volume injeksi udara pada *pressure window* pada trayek 12 – 1/4", 9-5/8" dan 7-7/8".

## Metodologi Penelitian

### 1. Study Literature

*Study literature* mengacu pada buku Boyun Guo, Sun Kai dan *report* perusahaan. Serta bahan tambahan dalam penyusunan laporan yang berkaitan dengan topik yang ditulis.

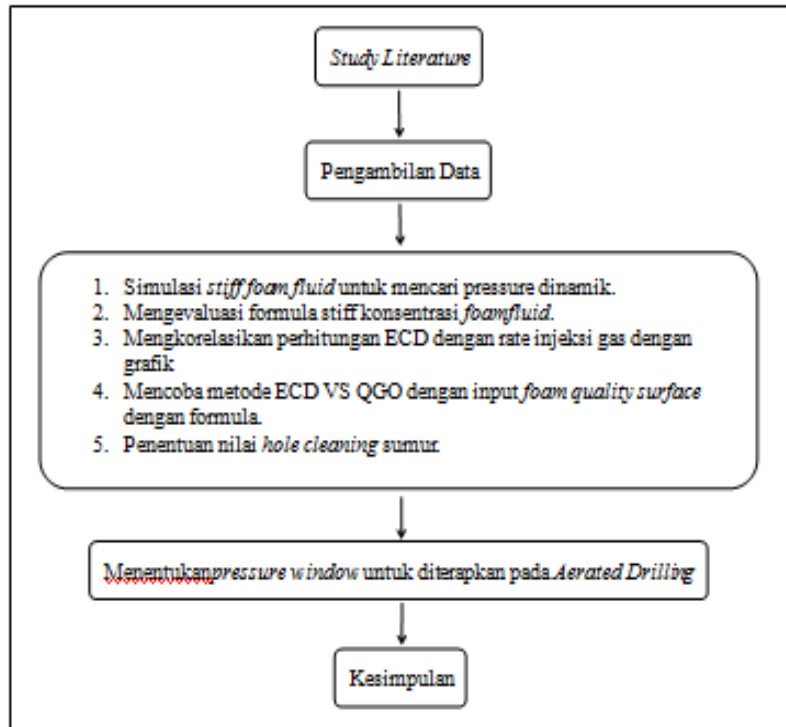
### 2. Pengumpulan Data

Sebelum memulai pengujian dilakukan pengumpulan data. Data tersebut adalah formulasi data aktual dan asumsi data, meliputi *True vertical depth*, *diameter pipe and bit*, *gravity*, *fluid density*, *air injection rate* dan *fluid injection rate*.

### 3. Proses Pengkajian

Perhitungan yang dilakukan adalah dengan mencari nilai *Bottom Hole Circulating Pressure* (BHCP) dan *Equivalent Circulating Density* (ECD).

Merupakan analisa yang dihasilkan didapatkan dari perhitungan BHCP dan ECD yang dipadukan dengan injeksi udara dan injeksi lumpur sehingga *goals* dari penelitian ini adalah menghasilkan batasan *pressure window* pada ECD 5 ppg dan 7 ppg, untuk mendapatkan BHCP yang direkomendasikan dalam penggunaan *aerated drilling*.



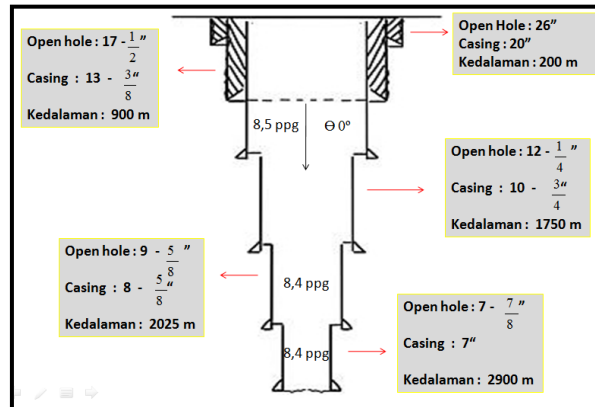
Gambar 1. Flow Chart

## Hasil dan Pembahasan

### a. Hasil

#### 1. Skema

Sumur ini rencananya akan dibor vertikal dengan total kedalaman 2900 m. Kedalaman *reservoir* atau *feed zone* diperkirakan berada pada kedalaman 1400 m sehingga ditentukan penempatan *casing shoe* pada kedalaman 900 m. Pada kedalaman tersebut maka mulai dipasang *casing liner* dengan diameter *open hole* 12 – 1/4” sampai kedalaman 1750 m. Dilanjutkan dengan menggunakan diameter *open hole* yang lebih kecil yaitu 9 – 5/8” sampai kedalaman 2025 m. Dan *casing liner* terakhir menggunakan diameter *open hole* 7 – 7/8” sampai total kedalaman sumur 2900 m. Dengan tujuan dapat menangani *loss* yang terjadi pada *section* tersebut, namun rentang penggunaan udara belum ditentukan. Penentuan rentang penggunaan udara ini sangat kritikal untuk menentukan kesuksesan hingga target kedalaman sumur.



Gambar 2. Profile Sumur

Tabel 1. Data Perhitungan Aerated Drilling

	Trayek		
	12 - $\frac{1}{4}$ "	9 - $\frac{5}{8}$ "	7 - $\frac{7}{8}$ "
TVD (ft)	5741.47	6643.7	9514.44
Influx $Q_{fs}$	0	0	0
Temperature Sirkulasi (°R)	599.67	614.07	617.67
Temperature Surface (°R)	527.67	536.67	542.07
Open Hole (inch)	12 - $\frac{1}{4}$ "	9 - $\frac{5}{8}$ "	7 - $\frac{7}{8}$ "
Diameter Inside DP (inch)	5	5	5
Diameter Liner (inch)	10 - $\frac{3}{4}$ "	8 - $\frac{5}{8}$ "	7 "
MW (ppg)	8,5	8,4	8,4
Pf (psi)	2619.12	3035.44	4359.89
Asumsi Udara $Q_{20}$ (SCFM)	500, 1000, 1500, 2000, 2400	500, 1000, 1500, 2000, 2400	500, 1000, 1500, 2000, 2400
Asumsi Lumpur $Q_1$ (GPM)	600, 700, 800, 900	600, 700, 800, 900	600, 700, 800, 900

**2. Tahapan Pencarian Penentuan *Pressure window*  
Menghitung BHCP**

Perhitungan akan diwakili dengan data sumur trayek 12-1/4” pada *rate* injeksi lumpur 600 gpm dan *rate* injeksi udara 500 scfm.

**Perhitungan Tekanan Hidrostatik (Ph)**

$$\begin{aligned} Ph &= 0.052 \times \rho_f \times TVD \\ &= 0.052 \times 8.5 \times 5741.47 \\ Ph &= 2537.72 \text{ psi} \end{aligned}$$

**Menghitung GLR**

$$\begin{aligned} GLR &= \frac{Q_{g0}}{Q_l} \\ &= \frac{500}{600} \\ GLR &= 0.83 \end{aligned}$$

**Perhitungan GLR *Maximum***

$$\begin{aligned} GLR_{max} &= \frac{\Gamma_{max}}{1-\Gamma_{max}} (0.13369 + 0.09358 \frac{Q_{fx}}{Q_l}) \\ &= \frac{0.97}{1-0.97} (0.13369 + 0.09358 \frac{0}{600}) \\ GLR_{max} &= 4.32 \end{aligned}$$

**Menghitung *Foam Quality***

$$\begin{aligned} \Gamma &= \frac{\frac{4.07 \times GLR \times T}{Ph}}{\frac{4.07 \times GLR \times T}{Ph} + 0.13369 + 0.09358 \frac{Q_{fx}}{Q_l}} \\ &= \frac{\frac{4.07 \times 0.83 \times 599.67}{2537.72}}{\frac{4.07 \times 0.83 \times 599.67}{2537.72} + 0.13369 + 0.09358 \left(\frac{0}{600}\right)} \\ \Gamma &= 0.85 \% \end{aligned}$$

**Perhitungan *Foam Quality at Choke***

$$\begin{aligned} \frac{Ph}{P_g} &= \frac{(T \times \Gamma_g) \times (1-\Gamma)}{(T_g \times \Gamma) \times (1-\Gamma_g)} \\ \frac{2537.72}{50} &= \frac{(599.67 \times 0.8) \times (1-0.85)}{(527.67 \times 0.85) \times (1-0.8)} \end{aligned}$$

Setelah di *Goal Seek*, perbandingannya menjadi sama :

$$50.75 = 50.75$$

Didapat *foam quality at choke* sebesar 0.66%

**Perhitungan *Hydraulic Diameter of Flow Path***

$$\begin{aligned} D_H &= (OH - ID_{DP}) \times 0.0833 \\ &= (12.25 - 5) \times 0.0833 \\ D_H &= 0.60 \end{aligned}$$

**Menghitung *Cross Sectional Area of Flow Path***

$$\begin{aligned} A &= 3.14 \times \left( \frac{(OH)^2 - (ID_{DP})^2}{4} \right) \\ &= 3.14 \times \left( \frac{(12.25)^2 - (5)^2}{4} \right) \\ A &= 98.17 \end{aligned}$$

**Perhitungan *Effective Viscosity* ( $\mu_e$ )**

Untuk mencari *effective viscosity* dapat menggunakan rumus dari (Guo, 2002). [1].

$$\begin{aligned} K &= -0.15626 + 56.147\Gamma - 312.77\Gamma^2 + 576.65\Gamma^3 + 63.960\Gamma^4 - 960.46\Gamma^5 - 154.68\Gamma^6 + \\ &\quad 1670.2\Gamma^7 - 937.88\Gamma^8 \\ &= -0.15626 + (56.147 \times 0.04) - (312.77 \times 0.04^2) + (576.65 \times 0.04^3) + (63.960 \times \\ &\quad 0.04\Gamma^4) - (960.46 \times 0.04^5) - (154.68 \times 0.04^6) + (1670.2 \times 0.04^7) - (937.88 \times \\ &\quad 0.04^8) \end{aligned}$$

$$K = 1.46$$

$$\begin{aligned} n &= 0.095932 + 2.3654\Gamma - 10.467\Gamma^2 + 12.95\Gamma^3 + 14.467\Gamma^4 - 14.467\Gamma^5 + 20.625\Gamma^6 \\ &= 0.095932 + (2.3654 \times 0.04) - (10.467 \times 0.04^2) + (12.955 \times 0.04^3) + (14.467 \times \\ &\quad 0.04^4) - (14.467 \times 0.04^5) + (20.625 \times 0.04^6) \end{aligned}$$

$$n = 0.17$$

*Effective foam viscosity* untuk *foam quality* dapat diestimasi berdasarkan *consistency index* K dan *flow behavior index* n:

$$\begin{aligned} \mu_e &= K \left( \frac{2n+1}{3n} \right)^n \left( \frac{12 \times v_f}{D_H} \right)^{n-1} \\ &= 1.46 \times \left( \frac{(2 \times 0.17) + 1}{3 \times 0.17} \right)^{0.17} \left( \frac{12 \times 11.20}{0.60} \right)^{0.17-1} \\ \mu_e &= 0.02 \end{aligned}$$

**Menghitung *Average Foam Density***

$$\begin{aligned} \gamma_{fa} &= \gamma_1 \left[ \gamma_1 \frac{(S_g \times P_h)}{(53.3 \times T)} \right]^\Gamma \\ &= 63.58 \left[ 63.58 - \frac{(1 \times 2537.72)}{(53.3 \times 599.67)} \right]^{0.85} \\ \gamma_{fa} &= 64.350 \text{ lb/ft}^3 \end{aligned}$$

**Perhitungan Foam Velocity (Vf)**

$$v_f = \frac{Q_{gp} + Q_l + Q_{fx}}{A}$$

$$= \frac{500 + 600 + 0}{98.17}$$

$$v_f = 11.20$$

**Menghitung Friction Factor**

$$f = \frac{64}{Re}$$

$$= \frac{64}{21621}$$

$$f = 2.96$$

**Menghitung BHCP**

Untuk mencari BHCP dapat menggunakan dari (Sun, 2003). [5].

$$b = \frac{1 - \Gamma_s}{P_s \times \Gamma_s}$$

$$= \frac{1 - 0.66}{50 \text{ psi} \times 0.66}$$

$$b = 0.0103$$

$$a = \frac{53.3 \times b \times \gamma_l \times T + S_g \times \cos(\theta)}{53.3 \times T}$$

$$= \frac{53.3 \times 0.0103 \times 63.58 \times 599.67 + 1}{53.3 \times 599.67} \times \cos(0)$$

$$a = 0.6549$$

$$c = \frac{144 \times P_s \times T}{60 \times A \times T_s}$$

$$= \frac{144 \times 50 \times 599.67}{60 \times 98.17 \times 527.67}$$

$$c = 1.389$$

$$d = \frac{144}{60 \times A} \left( \frac{Q_l}{7.48} + \frac{5.615 \times Q_{fx}}{60} \right)$$

$$= \frac{144}{60 \times 98.17} \left( \frac{600}{7.48} + \frac{5.615 \times 0}{60} \right)$$

$$d = 1.96$$

$$e = \frac{f}{2 \times \rho \times D_H \times \cos(\theta)}$$

$$= \frac{2.96}{2 \times 32.2 \times 0.60 \times \cos 0}$$

$$e = 0.076$$

$$N = \frac{c^2 \times e}{(1 + d^2 \times e)^2}$$

$$= \frac{1.389^2 \times 0.076}{(1 + 1.96^2 \times 0.076)^2}$$

$$N = 0.087$$

$$M = \frac{c \times d \times e}{1 + d^3 \times e}$$

$$= \frac{1.389 \times 1.96 \times 0.076}{1 + 1.96^3 \times 0.076}$$

$$M = 0.131$$

Dengan menggunakan fungsi *Goal Seek* dengan aplikasi *Microsoft Excel* sebagai berikut :

$$b \times (P - P_s) - \frac{1 - 2 \times b \times M}{2} \ln \left| \frac{(P + M)^2 + N}{(P_s + M)^2 + N} \right|$$

$$- \frac{M + bN - bM^2}{\sqrt{N}} \left[ \tan^{-1} \left( \frac{P+M}{\sqrt{N}} \right) - \tan^{-1} \left( \frac{P_s+M}{\sqrt{N}} \right) \right]$$

$$= a (1 + d^2 e) L$$

$$0.0103 (2537.72 - 50) - \frac{1 - 2 \times 0.0103 \times 0.131}{2} \times$$

$$\ln \left| \frac{(2537.72 + 0.131)^2 + 0.087}{(50 + 0.131)^2 + 0.087} \right| -$$

$$\frac{0.131 + 0.0103 \times 0.087 - 0.0103 \times 0.131^2}{\sqrt{0.087}} \times$$

$$\left[ \tan^{-1} \left( \frac{2537.72 + 0.131}{\sqrt{0.087}} \right) - \tan^{-1} \left( \frac{50 + 0.131}{\sqrt{0.087}} \right) \right]$$

$$= 0.6549 (1 + (1.96)^2 \times 0.076) 5741.47$$

$$37.61 = 31.72$$

Setelah di *Goal Seek*, perbandingannya menjadi sama :

$$31.72 = 31.72$$

Didapat BHCP setelah penambahan udara sebesar :

$$\text{BHCP} = 2046 \text{ psi}$$

Jadi didapat BHCP pada *rate* injeksi lumpur 600 gpm dan *rate* injeksi udara 500 scfm yaitu 2046 psi.

**Tabel 2.** Hasil BHCP Trayek 12 - 1/4"

Qgo \ Ql	500 SCFM	1000 SCFM	1500 SCFM	2000 SCFM	2500 SCFM
400 GPM	1757 psi	1066 psi	651 psi	426 psi	308 psi
500 GPM	1926 psi	1313 psi	900 psi	600 psi	450 psi
600 GPM	2046 psi	1491 psi	1065 psi	766 psi	565 psi
700 GPM	2136 psi	1636 psi	1200 psi	920 psi	700 psi
800 GPM	2204 psi	1761 psi	1377 psi	1062 psi	831 psi
900 GPM	2254 psi	1844 psi	1499 psi	1200 psi	930 psi

**Tabel 3.** Hasil BHCP Trayek 9 - 5/8"

Qgo \ Ql	500 SCFM	1000 SCFM	1500 SCFM	2000 SCFM	2500 SCFM
400 GPM	2123 psi	1363 psi	850 psi	564 psi	402 psi
500 GPM	2307 psi	1638 psi	1133 psi	784 psi	563 psi
600 GPM	2433 psi	1845 psi	1400 psi	1010 psi	744 psi
700 GPM	2530 psi	1975 psi	1568 psi	1195 psi	912 psi
800 GPM	2601 psi	2118 psi	1716 psi	1373 psi	1076 psi
900 GPM	2659 psi	2223 psi	1847 psi	1512 psi	1226 psi



**Tabel 4.** Hasil BHCP Trayek 7 - 7/8”

Qgo \ QI	500	1000	1500	2000	2500
	SCFM	SCFM	SCFM	SCFM	SCFM
400 GPM	3357 psi	2412 psi	1667 psi	1150 psi	804 psi
500 GPM	3552 psi	2752 psi	2078 psi	1557 psi	1146 psi
600 GPM	3699 psi	3005 psi	2396 psi	1877 psi	1469 psi
700 GPM	3805 psi	3197 psi	2648 psi	2166 psi	1748 psi
800 GPM	3883 psi	3336 psi	2833 psi	2413 psi	2024 psi
900 GPM	3947 psi	3462 psi	3022 psi	2597 psi	2223 psi

**Menghitung ECD**

$$\begin{aligned}
 \text{ECD} &= \frac{\text{Ph}-14.696}{0.052 \times \text{TVD}} \\
 &= \frac{2537.72 - 14.696}{0.052 \times 5741.47} \\
 \text{ECD} &= 8,45 \text{ ppg}
 \end{aligned}$$

**Tabel 5.** Hasil ECD Trayek 12 - 1/4”

Qgo \ QI	500	1000	1500	2000	2500
	SCFM	SCFM	SCFM	SCFM	SCFM
400 GPM	7.34 ppg	5.11 ppg	3.53 ppg	2.13 ppg	2.18 ppg
500 GPM	7.50 ppg	4.35 ppg	2.97 ppg	1.96 ppg	1.46 ppg
600 GPM	8.45 ppg	4.95 ppg	3.52 ppg	2.52 ppg	1.85 ppg
700 GPM	8.51 ppg	5.43 ppg	3.97 ppg	3.03 ppg	2.30 ppg
800 GPM	9.11 ppg	5.85 ppg	4.56 ppg	3.51 ppg	2.74 ppg
900 GPM	9.30 ppg	6.13 ppg	4.97 ppg	3.97 ppg	3.07 ppg

**Tabel 6.** Hasil ECD Trayek 9 - 5/8”

Qgo \ QI	500	1000	1500	2000	2500
	SCFM	SCFM	SCFM	SCFM	SCFM
400 GPM	6.11 ppg	3.91 ppg	2.42 ppg	1.59 ppg	1.12 ppg
500 GPM	6.64 ppg	4.70 ppg	3.24 ppg	2.23 ppg	1.59 ppg
600 GPM	7.00 ppg	5.30 ppg	4.01 ppg	2.88 ppg	2.11 ppg
700 GPM	7.28 ppg	5.68 ppg	4.50 ppg	3.42 ppg	2.60 ppg
800 GPM	7.49 ppg	6.09 ppg	4.93 ppg	3.93 ppg	3.07 ppg
900 GPM	7.66 ppg	6.40 ppg	5.31 ppg	4.34 ppg	3.51 ppg

**Tabel 7.** Hasil ECD Trayek 7 - 7/8”

Qgo \ QI	500 SCFM	1000 SCFM	1500 SCFM	2000 SCFM	2500 SCFM
400 GPM	6.76 ppg	4.85 ppg	3.34 ppg	2.30 ppg	1.60 ppg
500 GPM	7.15 ppg	5.54 ppg	4.17 ppg	3.12 ppg	2.29 ppg
600 GPM	7.45 ppg	6.05 ppg	4.82 ppg	3.77 ppg	2.94 ppg
700 GPM	7.66 ppg	6.43 ppg	5.33 ppg	4.35 ppg	3.50 ppg
800 GPM	7.82 ppg	6.72 ppg	5.70 ppg	4.85 ppg	4.06 ppg
900 GPM	7.95 ppg	6.97 ppg	6.08 ppg	5.22 ppg	4.47 ppg

**Menghitung Batas Efektif**

$$\begin{aligned}
 \text{Aerated Range} &= 0.052 \times 5 \text{ ppg} \times \text{TVD} \\
 &= 0.052 \times 5 \text{ ppg} \times 5741.47 \text{ ft} \\
 \text{Aerated Range} &= 1492.4 \text{ Psi} \\
 \text{Aerated Range} &= 0.052 \times 7 \text{ ppg} \times \text{TVD} \\
 &= 0.052 \times 7 \text{ ppg} \times 5741.47 \text{ ft} \\
 \text{Aerated Range} &= 2089.36 \text{ psi}
 \end{aligned}$$

**Tabel 8.** Hasil Batasan Pressure Window

Trayek \ ECD	12 - 1/4 ”	9 - 5/8 ”	7 - 7/8 ”
5 ppg	1492.4 psi	1726.92 psi	2473.12 psi
7 ppg	2089.36 psi	2417.688 psi	3462.368 psi

**Grafik BHCP Terhadap Qgo**

Dari Grafik 1. BHCP Vs Qgo Trayek 12 – 1/4” menunjukkan batasan penentuan Pressure window pada trayek 12 - 1/4” pada kedalaman 1750 meter yaitu dengan Aerated Range sebesar 1492.4 psi dengan ECD 5 ppg dan 2089.36 psi dengan ECD 7 ppg.

Dari Grafik 2. BHCP Vs Qgo Trayek 9 – 5/8” menunjukkan batasan penentuan Pressure window pada trayek 9 – 5/8” pada kedalaman 2025 meter yaitu dengan Aerated Range sebesar 1726.92 psi dengan ECD 5 ppg dan 2417.688 psi dengan ECD 7 ppg.

Dari Grafik 3. BHCP Vs Qgo Trayek 7 – 7/8” menunjukkan batasan penentuan Pressure window pada trayek 7 – 7/8” pada kedalaman 2900 meter yaitu dengan Aerated Range sebesar 2473.12 psi dengan ECD 5 ppg dan 3462.368 psi dengan ECD 7 ppg.

## **Pembahasan**

Dari Tabel 2, Tabel 5 dan grafik 1 BHCP VS Qgo Trayek 12 – 1/4” pada batasan ECD 5 ppg dengan BHCP 1492.4 psi dan 7 ppg dengan BHCP 2089.36 psi, dapat dilihat perbandingan volume lumpur dan udara yang direkomendasikan dapat digunakan. Pada volume lumpur 400 gpm, volume udara yang direkomendasikan yaitu 500 scfm menghasilkan BHCP sebesar 1757.61 psi dengan ECD 6.76 ppg. Pada volume lumpur 500 gpm, volume udara yang direkomendasikan yaitu 500 scfm menghasilkan BHCP sebesar 1926.18 psi dengan ECD 6.40 ppg. Pada volume lumpur 600 gpm, volume udara yang direkomendasikan yaitu 500 scfm menghasilkan BHCP sebesar 2046.96 psi dengan ECD 6.81 ppg. Pada volume lumpur 700 gpm, volume udara yang direkomendasikan yaitu 1000 scfm menghasilkan BHCP sebesar 1636.72 psi dengan ECD 5.43 ppg. Pada volume lumpur 800 gpm, volume udara yang direkomendasikan yaitu 1000 scfm menghasilkan BHCP sebesar 1761.46 psi dengan ECD 5.85 ppg. Pada volume lumpur 900 gpm, volume udara yang direkomendasikan yaitu 1000 menghasilkan BHCP sebesar 1844.43 psi dengan ECD 6.13 ppg dan 1500 scfm menghasilkan BHCP sebesar 1499.07 psi dengan ECD 4.97 ppg.

Dari Tabel 3, Tabel 6 dan grafik 2 BHCP VS Qgo Trayek 9 – 5/8” pada batasan ECD 5 ppg dengan BHCP 1726.92 psi dan 7 ppg dengan BHCP 2417.688 psi, dapat dilihat perbandingan volume lumpur dan udara yang direkomendasikan dapat digunakan. Pada volume lumpur 400 gpm, volume udara yang direkomendasikan yaitu 500 scfm menghasilkan BHCP sebesar 2123.48 psi dengan ECD 6.11 ppg. Pada volume lumpur 500 gpm, volume udara yang direkomendasikan yaitu 500 scfm menghasilkan BHCP sebesar 2307.48 psi dengan ECD 6.64 ppg. Pada volume lumpur 600 gpm, volume udara yang direkomendasikan yaitu 1000 scfm menghasilkan BHCP sebesar 1845.13 psi dengan ECD 5.30 ppg. Pada volume lumpur 700 gpm, volume udara yang direkomendasikan yaitu 1000 scfm menghasilkan BHCP sebesar 1975.23 psi dengan ECD 5.68 ppg. Pada volume lumpur 800 gpm, volume udara yang direkomendasikan yaitu 1000 scfm menghasilkan BHCP sebesar 2118.16 psi dengan ECD 6.09 ppg dan pada 1500 scfm menghasilkan BHCP 1716.71 psi dengan ECD 4.93 ppg. Pada volume lumpur 900 gpm, volume udara yang direkomendasikan yaitu 1000 scfm menghasilkan BHCP sebesar 2223.82 psi dengan ECD 6.40 ppg dan 1500 scfm menghasilkan BHCP sebesar 1847.68 psi dengan ECD 5.31 ppg.

Dari Tabel 4, Tabel 7 dan grafik 3 BHCP VS Qgo Trayek 7 – 7/8” pada batasan ECD 5 ppg dengan BHCP 2473.12 psi dan 7 ppg dengan BHCP 3462.368 psi, dapat dilihat perbandingan volume lumpur dan udara yang direkomendasikan dapat digunakan. Pada volume lumpur 400 gpm, volume udara yang direkomendasikan yaitu 500 scfm menghasilkan BHCP sebesar 3357.46 psi dengan ECD 6.76 ppg. Pada volume lumpur 500 gpm, volume udara yang direkomendasikan yaitu 1000 scfm menghasilkan BHCP sebesar 2752.83 psi dengan ECD 5.54 ppg. Pada volume lumpur 600 gpm, volume udara yang direkomendasikan yaitu 1000 scfm menghasilkan BHCP sebesar 3005.58 psi dengan ECD 6.05 ppg. Pada volume lumpur 700 gpm, volume udara yang direkomendasikan yaitu 1000 scfm menghasilkan BHCP sebesar 3157.35 psi dengan ECD 6.43 ppg dan 1500 scfm menghasilkan BHCP sebesar 2648.72 psi dengan ECD 5.33 ppg. Pada volume lumpur 800 gpm, volume udara yang direkomendasikan yaitu 1000 scfm menghasilkan BHCP sebesar 3336.48 psi dengan ECD 6.72 ppg dan pada 1500 scfm menghasilkan BHCP 2833.62 dengan ECD 5.70 ppg. Pada volume lumpur 900 gpm, volume udara yang direkomendasikan yaitu 1500 scfm menghasilkan BHCP sebesar 3022.32 psi dengan ECD 6.08 ppg dan pada 2000 scfm menghasilkan BHCP sebesar 2597.00 psi dengan ECD 5.22 ppg, dan pada 1000 scfm menghasilkan BHCP sebesar 3462.75 psi dengan ECD 6.97 ppg.

### **Kesimpulan**

Dari hasil penelitian yang berjudul *Design Pressure Operating Window* pada Operasi *Aerated Drilling* untuk Sumur *Geothermal*, dapat ditarik kesimpulan yaitu. Parameter yang digunakan untuk mengevaluasi *pressure window* pada pemboran aerasi yaitu nilai injeksi udara, nilai injeksi lumpur dan nilai ECD.

Perbandingan volume injeksi lumpur dengan volume injeksi udara untuk *aerated drilling* pada sumur *geothermal* pada trayek 12–1/4" yang direkomendasikan berturut-turut adalah volume lumpur 400 gpm dan volume udara 500 scfm, volume lumpur 500 gpm dan volume udara 500 scfm, volume lumpur 600 gpm dan volume udara 500 scfm, volume lumpur 700 gpm dan volume udara 1000 scfm, volume lumpur 800 gpm dan volume udara 1000 scfm dan volume lumpur 900 gpm dengan volume udara 1500 scfm.

Perbandingan volume injeksi lumpur dengan volume injeksi udara untuk *aerated drilling* pada sumur *geothermal* pada trayek 9–5/8” yang direkomendasikan berturut-turut adalah volume lumpur 400 gpm dan volume udara 500 scfm, volume lumpur 500

gpm dan volume udara 500 scfm, volume lumpur 600 gpm dan volume udara 1000 scfm, volume lumpur 700 gpm dan volume udara 1000 scfm, volume lumpur 800 gpm dan volume udara 1000 scfm dan 1500 scfm, serta volume lumpur 900 gpm dengan volume udara 1000 scfm dan 1500 scfm.

Perbandingan volume injeksi lumpur dengan volume injeksi udara untuk *aerated drilling* pada sumur geothermal pada trayek 7-7/8" yang direkomendasikan berturut-turut adalah volume lumpur 400 gpm dan volume udara 500 scfm, volume lumpur 500 gpm dan volume udara 1000 scfm, volume lumpur 600 gpm dan volume udara 1000 scfm, volume lumpur 700 gpm dan volume udara 1000 scfm dan 1500 scfm, volume lumpur 800 gpm dan volume udara 1000 scfm dan 1500 scfm dan volume lumpur 900 gpm dengan volume udara 1000 scfm 1500 scfm dan 2000 scfm.

## BIBLIOGRAFI

Guo, Boyun, Ghalambor, Ali. 2002. "*Gas Volume Requirements for Underbalanced Drilling*," PennWell, Oklahoma.

Hussain, Rabia. 2002. *Well Engineering & Construction*. Iran.

Putra, I Made Budi Kesuma. 2008. "*Drilling Practice With Aerated Drilling Fluid: Indonesian and Icelandic Geothermal Field*," United Nation University, Iceland, hal.1-7.

Saptadji, Neni Miryani. 2009. *Teknik Panas Bumi*. ITB, Bandung.

Sun, Kai. 2003, "*Pressure Requirements in Foam Drilling*," SPE, University of Louisiana, Lafayette, hal. 1-6.