

ANALISA PERBANDINGAN PENGUKURAN TEKANAN ANNULUS TEORI DAN LANGSUNG PADA PROSES PENGEBORAN MINYAK BUMI

Khairul Muhajir¹, Sugijarto Prawiro Sentono², Esa Taufik³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Mesin, Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta

Masuk: 3 Nopember 2011, revisi masuk: 11 Januari 2012, diterima: 25 Januari 2012

ABSTRACT

In oil drilling process, the application of pressure measurements in in space between formation borehole and drill pipe (annulus) is very important. The correlation of predicted and measured annulus pressures is a very complex. The engineer's knowledge of oil drilling process is very important to understand annulus pressure change and their effects will influence the accuracy of annulus pressure predictions. Factors that should be considered include the monitoring and collection of rig-site information such as density, viscosity of mud, drilling depth, flow rate, and drill pipe rotation. The author collects the data and made the analysis with supporting documents. The research concludes that there are differences between predicted and measured annulus pressure. The most dominant factor is mud density that measured on surface and the one in the bore hole. The mud density in the borehole is influences by another material from rubbish and cutting. The equation is not corrected by the influences of that another material. The higher of percentage of rubbish in the bore hole will be caused the higher of mud density; hence the ECD and annulus pressure will be higher also. The amount of rubbish also influenced by viscosity, flow rate, and drill pipe rotation.

Keywords: *Annulus Pressure, Equivalent Circulating Density, Drilling Technology*

INTISARI

Pada proses pengeboran minyak penggunaan pengukuran tekanan pada rongga antara lubang bor dan pipa pengeboran (rongga *annulus*) adalah sangat penting. Hubungan antara tekanan *annulus* hasil perhitungan dan hasil pengukuran sensor dikaji dalam skripsi ini. Pengetahuan teknik tentang proses pengeboran minyak sangat penting untuk memahami perubahan tekanan *annulus* yang terjadi dan pengaruhnya terhadap ketelitian perhitungan tekanan *annulus*. Faktor-faktor yang perlu dipertimbangkan meliputi pengamatan dan pengumpulan informasi dari lokasi anjungan pengeboran seperti berat jenis, viskositas dari lumpur, kedalaman pengeboran, laju pompa, dan putaran pipa pengeboran. Penulis melakukan pengumpulan data pengeboran dan melakukan analisa dengan menghubungkan berbagai data. Penelitian menyimpulkan bahwa terjadi perbedaan antara tekanan *annulus* secara teori dan langsung. Faktor paling dominan yang menyebabkan perbedaan pengukuran secara teori dan sensor adalah perbedaan berat jenis lumpur yang diukur pada permukaan dan yang terdapat pada lubang bor. Berat jenis dari lumpur pengeboran di dalam lubang bor dipengaruhi oleh material-material lain dari sampah atau *cutting*. Persamaan yang ada belum di koreksi dengan mempertimbangkan pengaruh material lain tersebut. Semakin banyak kandungan sampah di lubang bor akan mengakibatkan semakin tinggi nilai berat jenis sehingga perolehan *ECD* dan tekanan *annulus* akan semakin besar. Kandungan sampah tersebut juga di pengaruhi oleh viskositas, laju pompa dan kecepatan putaran pipa.

Kata kunci: *Tekanan Annulus, Equivalent Circulating Density, Teknologi Pengeboran*

¹ khairul.muhajir@ymail.com,

³ esataufik2@gmail.com

PENDAHULUAN

Pengeboran merupakan bagian proses yang membutuhkan biaya paling banyak selama proses eksplorasi minyak bumi. Oleh karena itu pengeboran berlangsung dengan proses yang optimal dengan mempertimbangkan parameter-parameter yang ada.

Pengeboran dimasa depan akan semakin dalam menembus perut bumi untuk mencari ladang minyak bumi baru. Masalah utama yang akan dihadapi adalah mengantisipasi tekanan yang sangat besar dan temperatur yang sangat tinggi. Tekanan dan temperatur di dalam perut bumi diantisipasi dengan memanfaatkan konsep hidrolis dalam pengeboran minyak bumi akan memberikan tekanan di dalam lubang bor yang akan mencegah terjadinya penetrasi fluida dari formasi ke lubang bor (*kick* atau *blow out*) dan membantu mendinginkan mata bor selama pengeboran minyak bumi.

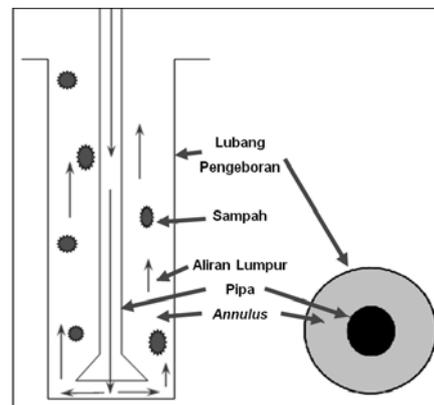
Pengukuran tekanan merupakan hal yang penting untuk melakukan proses pengeboran yang aman. Pembacaan tekanan dari sensor harus di periksa ulang ketepatannya dibandingkan dengan perhitungan secara teori.

Penelitian yang sudah dilakukan memperhitungan secara teori dan pengumpulan data dari hasil pembacaan sensor. Dari data-data yang diperoleh tersebut kemudian dilakukan metode analisis perbandingan tekanan *annulus* dengan *variable* di berbagai titik kedalaman dan mencari faktor-faktor penyebab apabila terjadi perbedaan. *Parameter* dibatasi berdasarkan berat jenis ini minyak bumi, viskositas, laju pompa, kedalaman dan kecepatan putaran pipa pengeboran.

Proses Eksplorasi Minyak bumi itu sendiri, berlangsung bertahap dari proses Evaluasi Kandungan Minyak Bumi, Pengeboran Minyak, Pemasangan *Casing*, Penyemenan, *Logging* (pengambilan sampel data) dan Produksi/Perforasi.

Pengertian dari Tekanan *Annulus* adalah Tekanan pada rongga antara pipa bor dan formasi batuan. Fungsi dari tekanan annulus ini ialah untuk menjaga agar stabilitas dan Efisiensi pengeboran:

menghindari kendala-kendala pengeboran seperti *kick*, *lost circulation*, *stuck pipe* dan sebagainya, seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Sketsa lubang *annulus*

METODE

Langkah-langkah perhitungan ini untuk mencari tekanan *Annulus* adalah sebagai berikut : Menentukan indeks *Power Law*, untuk menentukan sifat lumpur terhadap laju geser (*shear rate*) yang diberikan (Lapeyrouse, 2002). Semakin rendah nilai *n* berarti semakin encer lumpur terhadap laju geser (*shear rate*) yang diberikan.

$$n = 3,32 \log \frac{\phi 600}{\phi 300} \dots\dots\dots (1)$$

dimana: *n* = Indeks *Power Law*; Ø300 = Viskositas lumpur pada 300rpm (*cp*); Ø-600 = Viskositas lumpur pada 600rpm(*cp*).

Menentukan indeks konsistensi Indeks konsistensi dihitung dengan persamaan (Lapeyrouse, 2002):

$$K = \frac{\phi 300}{511^n} \dots\dots\dots (2)$$

dimana: *K* = Indeks konsistensi (*lbsⁿ/100 ft²*); *n* = Indeks *Power Law*.

Menentukan kecepatan kritis lumpur di *annulus*: Lumpur yang mengalir di *annulus* mempunyai kecepatan kritis yang menentukan batas antara pola aliran laminar dan pola aliran turbulen. Jika kecepatan lumpur melebihi kecepatan kritisnya, maka pola alirannya turbulen. Kecepatan kritis lumpur bor di *annulus* dapat ditentukan dengan persamaan (Lapeyrouse, 2002):

$$V_c = \left(\frac{3,878 \times 10^4 K}{\rho_m} \right)^{\frac{1}{1+(2-n)}} \times \left(\frac{2,4}{Dh - Dp} \times \frac{2n+1}{3n} \right)^{\frac{1}{n+(2-n)}} \dots(3)$$

dimana: V_c = Kecepatan kritis (ft/min); ρ_m = Berat jenis lumpur (ppg); K = Indeks Konsistensi ($lbs^n/100 ft^2$); D_h = Diameter lubang (in); D_p = Diameter luar pipa (in); n = Indeks *Power Law*.

Menentukan kecepatan aliran lumpur di *annulus*, lumpur yang mengalir di *annulus* mempunyai kecepatan alir yang dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Lapeyrouse, 2002):

$$V_a = \frac{24,51xQ}{(D_h^2 - D_p^2)} \dots\dots\dots(4)$$

dimana : V_a = Kecepatan lumpur di *annulus* (ft/min); Q = Laju alir pompa (gpm); D_h = Diameter lubang (in); D_p = Diameter pipa (in); Menentukan pola aliran lumpur Untuk mengetahui pola aliran lumpur di *annulus* dengan kecepatan tertentu dapat digunakan dua cara.

Cara pertama adalah dengan melihat kecepatan kritis, jika kecepatan lumpur di *annulus* lebih besar dari kecepatan kritisnya, maka pola alirannya adalah turbulen.

Cara kedua dengan melihat besarnya bilangan *Reynolds*, yaitu perbandingan gaya-gaya inersia terhadap viskositas dari percobaan pada fluida *Newtonian*, diketahui bahwa untuk $Re > 3000$ adalah turbulen, dan $Re < 2000$ adalah laminar, sedangkan diantaranya adalah transisi (Hawker, 2001). Bilangan *Reynolds* dapat dihitung dengan persamaan :

$$N_R = \frac{15,467 x V_a (D_h - D_p) \rho_m}{\mu_{ea}} \dots\dots\dots(5)$$

dimana: N_R = Bilangan *Reynolds*; V_a = Kecepatan lumpur di *annulus* (ft/min); ρ_m = Berat jenis lumpur (ppg); D_h = Diameter lubang (in); D_p = Diameter pipa (in); μ_{ea} = *Effective viscosity annulus* (cp).

Sedangkan untuk *Effective viscosity annulus*, dapat dihitung dengan persamaan (6):

$$\mu_{ea} = 100 K \left(\frac{2,41 x V_a}{D_h - D_p} \right)^{(n-1)} x \left(\frac{2n+1}{3n} \right)^n \dots\dots\dots(6)$$

dimana: μ_{ea} = *Effective viscosity annulus* (cp); K = Indeks Konsistensi ($lbs^n/100 ft^2$); n = Indeks *Power Law*; V_a = Kecepatan lumpur di *annulus* (ft/min); D_h = Diameter lubang (in); D_p = Diameter pipa (in)

Tekanan yang hilang di *annulus* dipengaruhi bentuk aliran lumpur yang terjadi. Untuk mengetahui tekanan yang

hilang di *annulus* harus dicari jenis alirannya apakah *laminar* atau *turbulen*.

Perhitungan tekanan yang hilang di *annulus* menggunakan persamaan (Lapeyrouse, 2002):

$$P_{slaminar} = \left(\frac{24 V_a}{D_h - D_p} x \frac{2n+1}{3n} \right)^n x \left(\frac{KL}{300(D_h - D_p)} \right) \dots\dots\dots(7)$$

$$P_s \text{ turbulen} = \frac{7,7x10^5 \rho_m^{0,8} Q^{1,8} PV^{0,2} L}{(D_h - D_p)^3 x (D_h + D_p)^{1,8}} \dots\dots\dots(8)$$

dimana: P_s = Tekanan yang hilang di *annulus* (psi); V_a = Kecepatan lumpur di *annulus* (ft/min); n = Indeks *Power Law*; K = Indeks Konsistensi ($lbs^n/100 ft^2$); L = Panjang pipa (ft); Q = Laju alir pompa (gpm); ρ_m = Berat jenis lumpur (ppg); D_h = Diameter lubang (in); D_p = Diameter pipa (in) PV = *Plastic viscosity* (cp).

Berat jenis sirkulasi ekuivalen lumpur (*Equivalent Circulating Density* atau *ECD*). Berat jenis lumpur pada kondisi statik dan dinamik tidak sama. Ketika lumpur mengalir maka berat jenisnya mengalami kenaikan (Lapeyrouse, 2002).

$$ECD = \frac{P_s}{0,05195xTVD} + \rho_m \dots\dots\dots(9)$$

dimana : ECD = Berat jenis sirkulasi ekuivalen lumpur / *Equivalent Circulating Density* (ppg); P_s = Tekanan yang hilang di *annulus* (psi); ρ_m = Berat jenis lumpur (ppg).

Menentukan Tekanan *annulus* dapat dihitung dengan (Gzara dan Cooper, 2008):

$$P_{annulus} = ECD x [g(TVD - EHED)] + P_{Balik} \dots\dots\dots(10)$$

dimana: $P_{annulus}$ = Tekanan *annulus* (psi); g = Konstanta gravitasi (0.05195 untuk mendapatkan *ECD* dalam ppg); TVD = Kedalaman vertikal (ft); $EHED$ = Jarak acuan kedalaman dan jalur pembuangan (ft); P_{Bali} = Tekanan balik (psi) Tekanan balik tidak ada bila pengeboran memakai *riser*.

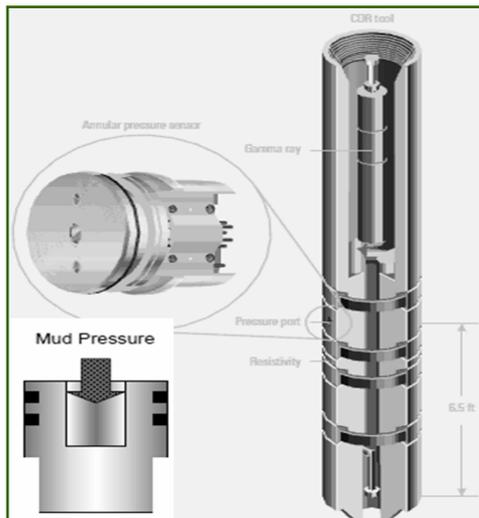
Tekanan balik tidak ada bila pengeboran memakai *riser*. Apabila lumpur dibuang ke laut maka tekanan balik dihitung dengan persamaan :

$$P_{Balik} = g x WD x \rho_{sw} \dots\dots\dots(11)$$

dimana: P_{Balik} = Tekanan balik (psi); g = Konstanta gravitasi (0.05195 untuk mendapatkan *ECD* dalam ppg). WD = Kedalaman air atau *water depth* (ft); ρ_{sw} = berat jenis air laut (8,5 ppg). Cara kerja sensor tekanan *annulus* adalah ketika

fluida pengeboran memasuki lubang dan menekan dinding yang bersifat elastis. Deformasi yang terjadi diukur dengan *strain gauge*.

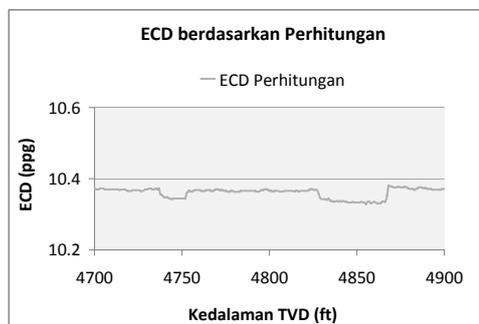
Sensor ini dikalibrasi pada berbagai tekanan dan temperatur statik untuk menentukan koefisien tekanan dan temperatur. Adapun sensor Annulus ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Sensor tekanan Annulus pada pipa pengeboran

PEMBAHASAN

Perhitungan *Equivalent Circulating Density* (ECD) dan tekanan annulus dilakukan di 150 titik kedalaman beserta pembacaan tekanan dari sensor. Data-data yang diperoleh kemudian di plot menjadi grafik seperti Gambar 3.

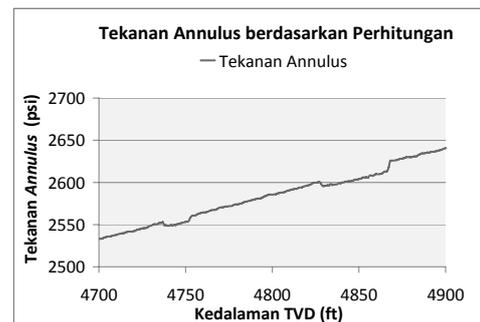


Gambar 3. Grafik antara kedalaman dan ECD perhitungan.

Berdasarkan Gambar 3. didapat perbandingan ECD (*Equivalent Circulating Density*) terhadap kedalaman.

Nilai ECD terlihat cukup tidak terpengaruh dengan penambahan kedalaman. Terdapat penurunan nilai ECD pada sekitar kedalaman 4750 dan 4850 ft.

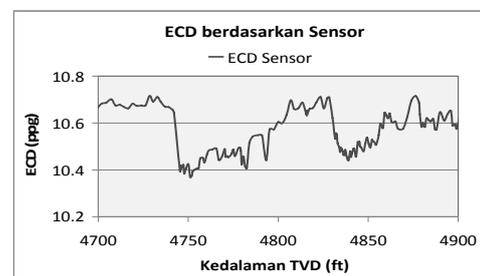
Secara teoritis, ECD berbanding terbalik dengan kedalaman. Akan tetapi kedalaman disini dikalikan dengan konstanta gravitasi (0.05195) sehingga hasil yang diperoleh sangat kecil dan tidak begitu mempengaruhi perhitungan ECD.



Gambar 4. Grafik antara kedalaman dan tekanan annulus perhitungan

Gambar 4. didapat dari perbandingan Tekanan Annulus terhadap kedalaman. Nilai Tekanan Annulus meningkat sebanding dengan kedalaman. Terdapat penurunan nilai Tekanan Annulus pada sekitar kedalaman 4750 dan 4850 ft.

Secara teoritis, Tekanan Annulus berbanding lurus dengan kedalaman. Hal ini dibuktikan dengan hasil perhitungan bahwa Tekanan Annulus semakin tinggi pada saat pengeboran semakin dalam.

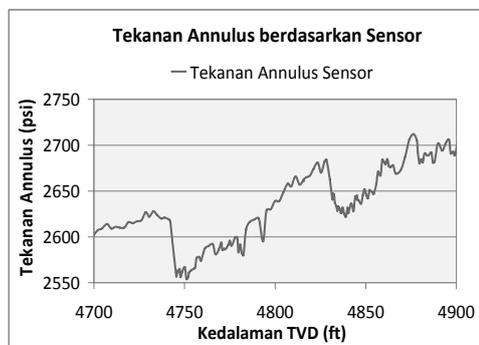


Gambar 5. Grafik antara kedalaman dan ECD sensor

Dari hasil pengukuran langsung dari sensor didapat data ECD (*Equivalent Circulating Density*) dalam satuan ppg

dan *Tekanan Annulus* dalam satuan psi secara langsung. Data-data tersebut kemudian ditampilkan dalam bentuk grafik. Gambar 5. didapat dari perbandingan *ECD (Equivalent Circulating Density)* terhadap kedalaman. Nilai *ECD* didapat sekitar 10.4 sampai 10.7 ppg dan tidak dipengaruhi dengan kedalaman. Terdapat penurunan nilai *ECD* pada sekitar kedalaman 4750 dan 4850 ft.

Secara teoritis, *ECD* berbanding terbalik dengan kedalaman. Akan tetapi kedalaman disini dikalikan dengan konstanta gravitasi (0.05195) sehingga hasil yang diperoleh sangat kecil dan tidak begitu mempengaruhi perhitungan *ECD*.



Gambar 6. Grafik antara kedalaman dan tekanan *annulus* sensor.

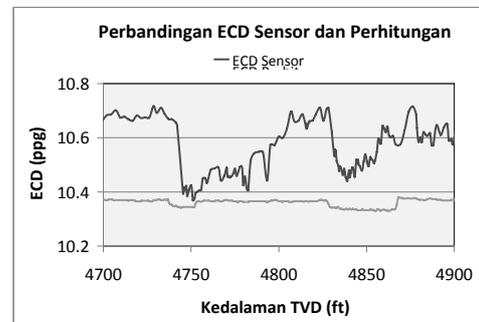
Gambar 6. didapat dari perbandingan *Tekanan Annulus* ini terhadap kedalaman. Nilai *Tekanan Annulus* meningkat sebanding dengan kedalaman. Terdapat penurunan nilai *Tekanan Annulus* pada sekitar kedalaman 4750 dan 4850 ft, hal ini akan dibahas lebih lanjut pada sub bab Analisa hasil penelitian.

Secara teoritis, *Tekanan Annulus* berbanding lurus dengan kedalaman. Hal ini dibuktikan dengan hasil perhitungan bahwa *Tekanan Annulus* semakin tinggi pada saat pengeboran semakin dalam.

Perbandingan data tekanan berdasarkan perhitungan manual dengan pengukuran sensor untuk kedalaman vertikal 4699–4900ft. Dari data yang diperoleh didapat perbedaan antara perhitungan dan pembacaan sensor dengan rincian sebagai berikut: *ECD (Equivalent Circulating Density)* Rata-rata : 0,19ppg, Maksimum : 0,35 ppg dan Minimum 0,02 ppg. *Tekanan annulus* Rata-rata: 44,17

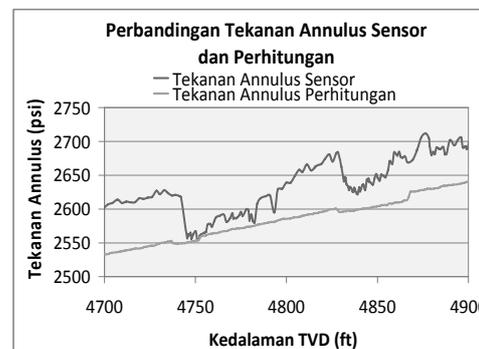
psi, Maksimum : 85,79 psi dan Minimum 0,05 psi

Perbandingan dalam bentuk Grafik dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik antara kedalaman, *ECD* perhitungan dan sensor.

Gambar 7. didapat dari perbandingan *ECD (Equivalent Circulating Density)* secara teori dan dari pembacaan sensor terhadap kedalaman. Nilai *ECD* dengan berbeda rata-rata 0,19 ppg, Maksimum : 0,35 ppg dan Minimum 0,02 ppg. Nilai *ECD* tidak terpengaruh kedalaman. Terdapat penurunan nilai *ECD* baik secara teori dan pembacaan sensor pada sekitar kedalaman 4750 dan 4850 ft.

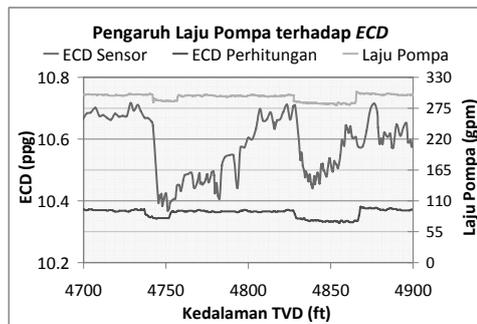


Gambar 8. Grafik antara kedalaman, tekanan *annulus* perhitungan dan sensor

Gambar 8. didapat dari perbandingan *Tekanan Annulus* secara teori dan dari pembacaan sensor terhadap kedalaman. Nilai *Tekanan Annulus* dengan berbeda rata-rata 44,17 psi, Maksimum : 85,79 psi dan Minimum 0,05 psi. Nilai *Tekanan Annulus* tidak terpengaruh kedalaman. Terdapat penurunan nilai *Tekanan Annulus* baik secara teori dan dari

pembacaan sensor pada sekitar kedalaman 4750 dan 4850 ft.

Parameter laju alir pompa ditampilkan pada grafik, pada Gambar 9 dan 10 untuk mengetahui perubahan laju pompa yang digunakan dalam perhitungan tekanan dan sensor. Perubahan laju pompa yang diperoleh sekitar 3 *gpm*. Dapat disimpulkan bahwa perubahan laju pompa merupakan faktor penyebab dari penurunan tekanan *annulus* dan *ECD* yang didapatkan melalui perhitungan. Hubungan perubahan kecepatan laju pompa dan nilai yang diperoleh lewat perhitungan bersifat proporsional pada persamaan. Hal ini juga dibuktikan bahwa perubahan laju pompa juga mempengaruhi hasil pembacaan sensor.



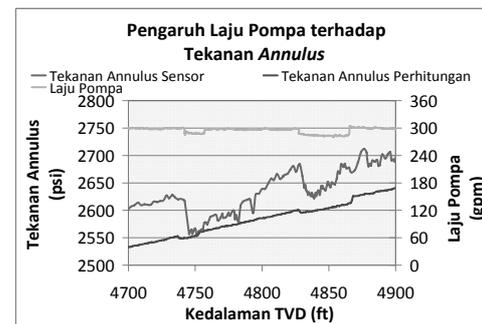
Gambar 9. Grafik efek laju pompa pada *ECD* perhitungan dan sensor

Pada Gambar 9. dapat dilihat bahwa terjadi penurunan *ECD* pada kedalaman vertikal 4739–4752ft *TVD*. *ECD* pada bacaan sensor mengalami penurunan sekitar 0,4ppg (0,048g/cm³). Pada perhitungan dengan persamaan yang ada juga diperoleh penurunan tetapi hanya sekitar 0,03ppg (0,004 g/cm³) pada *ECD* di interval kedalaman yang sama. Fenomena yang sama juga terjadi pada kedalaman vertikal 4828 – 4839ft *TVD*.

Pada kedalaman tersebut terjadi penurunan laju pompa sebesar 3 *gpm*. Dapat disimpulkan bahwa perubahan laju pompa merupakan salah satu faktor penyebab penurunan *ECD* dan perbedaan nilai yang didapatkan melalui perhitungan dengan pembacaan sensor.

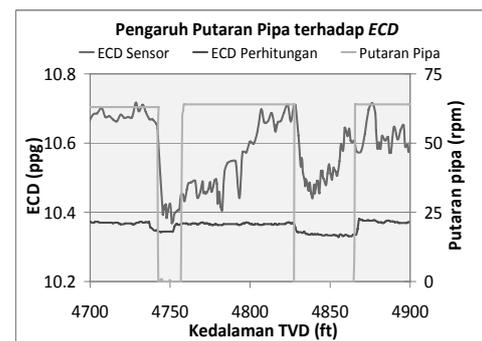
Pada grafik selanjutnya (Gambar 10) disajikan perbandingan laju pompa terhadap tekanan *annulus*. Pada grafik

dapat dilihat bahwa terjadi penurunan tekanan *annulus* pada kedalaman vertikal 4739–4752ft *TVD*. Tekanan *annulus* pada bacaan sensor mengalami penurunan sekitar 60 *psi* (4,14MPa). Pada perhitungan dengan persamaan yang ada juga diperoleh penurunan tetapi hanya sekitar 4*psi* (0,027Mpa pada tekanan *annulus* di interval kedalaman yang sama. Fenomena ini juga terjadi pada kedalaman vertikal 4828–4839ft *TVD*.



Gambar 10. Grafik efek laju pompa pada tekanan *annulus* perhitungan dan sensor

Pada kedalaman tersebut terjadi penurunan laju pompa sebesar 3 *gpm*. Dapat disimpulkan bahwa perubahan laju pompa merupakan salah satu faktor penyebab penurunan tekanan *annulus* dan perbedaan nilai yang didapatkan melalui perhitungan dengan pembacaan sensor.



Gambar 11. Grafik pengaruh putaran pipa pada *ECD*

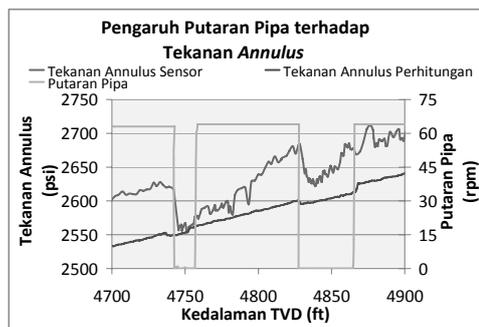
Parameter kecepatan putar pipa pengeboran ditampilkan dalam grafik, pada Gambar 11 dan 12, untuk mengetahui perubahan kecepatan putar pipa selama proses pengeboran. Putaran pipa

yang paling cepat selama proses pengeboran yaitu 64rpm dan terdapat kondisi pipa tidak diputar (0 rpm) yang dilakukan oleh *directional driller* untuk mengendalikan arah mata bor.

Dari gambar terlihat jelas ketika pipa berhenti berputar maka tekanan *annulus* akan menurun secara drastis. Ketika pipa diputar dari kondisi diam, tekanan *annulus* dan *ECD* akan meningkat tetapi tidak secepat ketika pipa berhenti berputar.

Pada Gambar 11. dapat dilihat bahwa terjadi penurunan *ECD* pada kedalaman vertikal 4739 – 4752 ft TVD. *ECD* pada bacaan sensor mengalami penurunan sekitar 0,4 ppg (0,048 g/cm³). Pada perhitungan dengan persamaan yang ada juga diperoleh penurunan tetapi hanya sekitar 0,03 ppg (0,004 g/cm³) pada *ECD* di interval kedalaman yang sama. Fenomena yang sama juga terjadi pada kedalaman vertikal 4828 – 4839 ft TVD.

Pada kedalaman tersebut terjadi penurunan putaran pipa sebesar 64 rpm. Dapat disimpulkan bahwa perubahan putaran pipa merupakan salah satu faktor penyebab penurunan *ECD* dan perbedaan nilai yang didapatkan melalui perhitungan dengan pembacaan sensor.



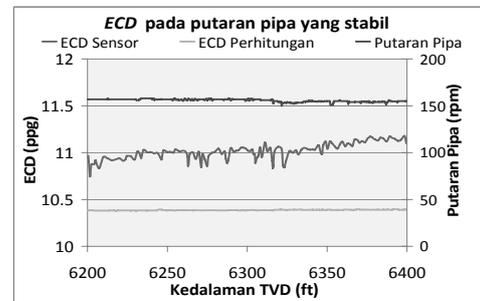
Gambar 12. Grafik pengaruh putaran pipa pada tekanan *annulus*

Pada Gambar 12. dapat dilihat bahwa terjadi penurunan tekanan *annulus* pada kedalaman vertikal 4739–4752ft TVD. Tekanan *annulus* pada bacaan sensor mengalami penurunan sekitar 60psi (4,14MPa). Pada perhitungan dengan persamaan yang ada juga diperoleh penurunan tetapi hanya sekitar 4 psi (0,027Mpa pada tekanan *annulus* di in-

terval kedalaman yang sama. Fenomena yang sama juga terjadi pada kedalaman vertikal 4828–4839ft TVD.

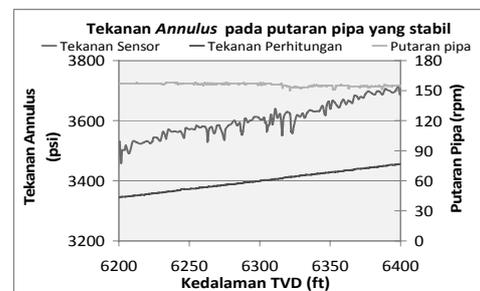
Pada kedalaman tersebut terjadi penurunan putaran pipa sebesar 64 rpm. Dapat disimpulkan bahwa perubahan putaran pipa merupakan salah satu faktor penyebab penurunan tekanan *annulus* dan perbedaan nilai yang didapatkan melalui perhitungan dengan pembacaan sensor.

Untuk menentukan faktor utama penyebab perbedaan hasil pengukuran perlu dilihat hasil pengukuran pada saat laju pompa dan putaran pipa stabil yang akan disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 13.



Gambar 13. Grafik pengaruh putaran pipa pada tekanan *ECD* (6200–6400ft)

Gambar 13. diambil pada kedalaman vertikal 6200–6400ft TVD. Pada grafik tersebut masih dapat kita lihat terjadi perbedaan perhitungan secara teori dan pengukuran sensor. Selain hal tersebut dapat kita simpulkan juga bahwa kecepatan putar pipa pengeboran yang stabil (± 155 rpm) akan sedikit mempengaruhi perubahan *ECD*.

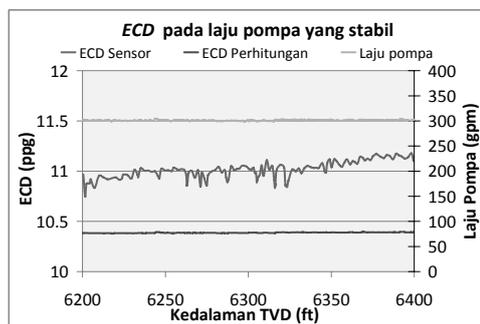


Gambar 14. Grafik pengaruh parameter putaran pipa pada Tekanan *Annulus* (6200–6400ft)

Pada Gambar 14. tersebut masih dapat kita lihat terjadi perbedaan perhitungan secara teori dan pengukuran sensor.

Selain hal tersebut dapat kita simpulkan juga bahwa kecepatan putar pipa pengeboran yang stabil (± 155 rpm) akan sedikit mempengaruhi perubahan tekanan *annulus*.

Pada grafik selanjutnya (Gambar 15) disajikan perbandingan pengaruh laju pompa yang stabil terhadap *ECD*



Gambar 15. Grafik pengaruh laju pompa pada *ECD* (6200–6400ft)

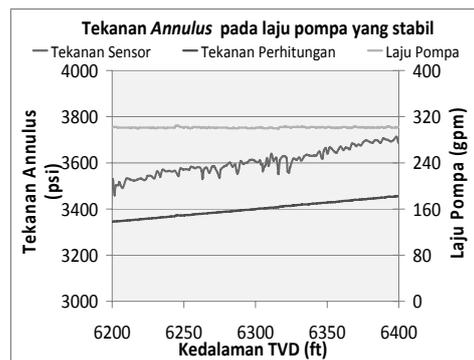
Gambar 15. diambil pada kedalaman vertikal 6200–6400ft TVD. Pada grafik tersebut masih dapat kita lihat terjadi perbedaan perhitungan secara teori dan pengukuran sensor. Selain hal tersebut dapat kita simpulkan juga bahwa kecepatan putar pipa pengeboran yang stabil (± 300 gpm) akan sedikit mempengaruhi perubahan *ECD*.

Pada Gambar 16. diambil pada kedalaman vertikal 6200–6400ft TVD. Pada grafik tersebut masih dapat kita lihat terjadi perbedaan perhitungan secara teori dan pengukuran sensor. Selain hal tersebut dapat kita simpulkan juga bahwa kecepatan putar pipa pengeboran yang stabil (± 300 gpm) akan sedikit mempengaruhi perubahan tekanan *annulus*.

Dari berbagai analisa sebelumnya diketahui faktor-faktor penyebab perbedaan pengukuran antara teori dan pengukuran langsung adalah parameter berat jenis, viskositas dan kedalaman, laju pompa dan kecepatan putar pipa pengeboran.

Berat jenis dan viskositas dari lumpur pengeboran di dalam lubang bor

dipengaruhi oleh material-material lain dari sampah atau *cutting*. Sedangkan pada pengukuran dan persamaan yang ada belum di koreksi dengan mempertimbangkan pengaruh material lain tersebut terhadap berat jenis dan viskositas lumpur pengeboran karena hal ini sangat kompleks dan sulit untuk diperkirakan.



Gambar 16. Grafik pengaruh laju pompa pada tekanan *annulus* (6200 – 6400 ft)

Pengukuran *sample* dari lumpur pengeboran yang meliputi berat jenis dan viskositas di lakukan di permukaan. Pengukuran tidak bisa dilakukan secara langsung di dalam lubang pengeboran. Sampai saat ini belum ada sensor yang bisa mengukur berat jenis dan viskositas secara langsung di dalam lubang pengeboran. Pengukuran dilakukan dengan seakurat mungkin dengan cara melakukan pengukuran dengan cepat dan teliti.

Selain faktor perbedaan pembacaan, banyaknya sampah tersebut juga dapat dipengaruhi oleh laju pompa dan putaran pipa.

Semakin tinggi laju pompa dan semakin tinggi putaran pipa maka semakin besar kecepatan tangensialnya, sehingga akan membantu pengangkatan sampah di *annulus*. Secara teoritis, aliran diantara 2 pipa silinder akan berbentuk helikal bila salah satu atau kedua pipa diputar. Putaran ini akan memberikan kecepatan tangensial pada fluida dirongga antara kedua pipa. Sampah-sampah tersebut akan mengendap bila lumpur tidak mampu mengangkutnya. Bahan-bahan padat sampah yang bercampur dengan lumpur selama pengeboran akan mempengaruhi berat jenis lumpur. Berat jenis lumpur selama sirkulasi lebih tinggi

bila dibandingkan lumpur statik karena sampah akan bercampur dengan lumpur dan mengakibatkan kenaikan berat jenis lumpur dalam proses sirkulasi. Bila sampah-sampah ini sudah bersih terangkat maka berat jenis lumpur dan tekanan yang terjadi di *annulus* akan berkurang. Pada laju pompa dan kecepatan putar pipa pengeboran yang stabil, masih terdapat perbedaan pembacaan tetapi perbedaan yang terjadi akan lebih sedikit.

KESIMPULAN

Kesimpulan-kesimpulan yang dapat diambil adalah :

Dari analisa data diperoleh perbedaan antara perhitungan dan pembacaan sensor dengan rincian sebagai berikut: *ECD (Equivalent Circulating Density)* Rata-rata : 0,19ppg, Maksimum : 0,35ppg dan Minimum 0,02ppg; Tekanan *annulus* Rata-rata : 44,17 psi, Maksimum : 85,79psi dan Minimum 0,05psi.

Faktor paling dominan yang menyebabkan perbedaan pengukuran secara teori dan sensor adalah perbedaan berat jenis lumpur yang diukur pada permukaan dan berat jenis yang pada lubang bor. Berat jenis dari lumpur pengeboran di dalam lubang bor dipengaruhi oleh material-material lain dari sampah atau *cutting*. Persamaan yang ada belum di koreksi dengan mempertimbangkan pengaruh material lain tersebut. Semakin banyak kandungan sampah di lubang bor akan mengakibatkan semakin tinggi nilai berat jenis sehingga perolehan *ECD (Equivalent Circulating Density)* dan tekanan *annulus* akan semakin besar.

Perbedaan pengukuran juga disebabkan oleh pengaruh viskositas. Semakin tinggi pembacaan viskositas pada putaran rendah (dibawah 300 rpm) akan mengakibatkan pembacaan *ECD (Equivalent Circulating Density)* dan

tekanan *annulus* semakin besar. Tingginya pembacaan viskositas diakibatkan oleh banyaknya sampah di lubang bor yang akan mengurangi keenceran lumpur pengeboran.

Banyak sampah dalam lubang bor juga dapat dipengaruhi oleh laju pompa dan putaran pipa.

Semakin tinggi laju pompa dan semakin tinggi putaran pipa nilai tekanan *annulus* dan *ECD (Equivalent Circulating Density)* semakin meningkat karena sampah pada lubang pengeboran akan menambah berat jenis dari lumpur. Pada laju pompa dan kecepatan putar pipa pengeboran yang stabil, masih terdapat perbedaan pembacaan tetapi perbedaan yang terjadi akan lebih sedikit.

Dari kesimpulan yang didapat dalam penelitian ini maka penulis mengemukakan saran untuk dilakukan analisis lebih lanjut untuk mencari hubungan pengaruh sampah atau *cutting* pada lubang bor terhadap berat jenis lumpur untuk perhitungan tekanan *annulus*.

Selain itu juga perlu dilakukan analisis lebih lanjut untuk mencari hubungan matematis pengaruh laju pompa dan kecepatan putaran pipa terhadap peningkatan jumlah sampah di *annulus* yang dapat mempengaruhi berat jenis lumpur sehingga persamaan yang ada saat ini dapat dikembangkan untuk memperoleh nilai tekanan *annulus* dan *ECD (Equivalent Circulating Density)* yang lebih mendekati nilai pengukuran sensor.

DAFTAR PUSTAKA

- Hawker, D., 2001, *Drilling Fluids Hydraulics*, Datalog, Calgary
- Lapeyrouse, N. J., 2002, *Formulas and Calculations for Drilling, Production and Workover, Second Edition*, Gulf Professional Publishing, Washington.