

Perbandingan Evaluasi Slip Velocity Metode Chien dengan Metode Moore Corelation pada Sumur BSU Lapangan Bunyu

Sri Haryono^{*1)}, Pribowo Angling Kusumo²⁾, Edi Purwaka¹⁾

^{1,3)} Teknik Perminyakan, Universitas Proklamasi 45, Indonesia

²⁾ Teknik Perminyakan dan Gas Bumi, Universitas Papua, Indonesia

^{*}Corresponding email: aafaga@gmail.com

Abstract

Slip velocity evaluation is a critical aspect in ensuring the efficiency of cuttings lifting during drilling operations. This study analyzes the performance of cuttings transportation in the BSU Well of Bunyu Field. The aim is to determine whether the drill cuttings are lifted well or not, whether it is optimal or not by comparing two methods. The method used is the Chien Correlation method and the Moore Correlation method by integrating the parameters of mud rheology and well geometry, where the data is from direct observations in the field. The results of the study showed that at a depth interval of 5762-8823 ft, the Chien slip velocity value (0.092-0.156 ft/sec), while the Moore slip velocity value (0.0054-0.0126 ft/sec), was consistently lower than the critical velocity (3.6758-4.7727 ft/sec), with the Chien cutting transport ratio reaching 90.07-93.90%, while the Moore cutting transport ratio reached 99.2609% to 99.66%. This condition indicates optimal cutting lift and maintained laminar flow, thus successfully preventing the risk of pipe sticking and maintaining formation integrity. The research findings recommend the application of this method as a standard for evaluating drilling hydraulics by considering variations in formation characteristics in further studies.

Keywords: : Cutting, Chien, Moore, Velocity Slip

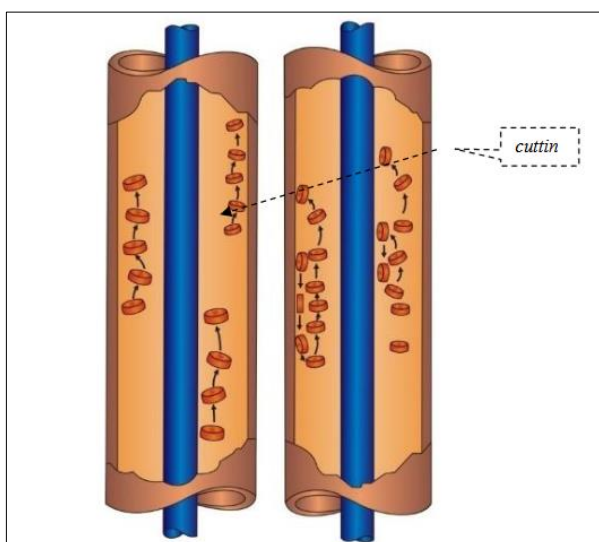
Abstrak

Evaluasi slip velocity merupakan aspek kritis dalam menjamin efisiensi pengangkatan cutting selama operasi pemboran. Penelitian ini menganalisis kinerja transportasi cutting pada Sumur BSU Lapangan Bunyu, Tujuannya untuk mengetahui apakah serbuk bor terangkat dengan baik atau tidak, sudah optimal atau belum dengan membandingkan dua cara. Metode yang digunakan metode Chien Correlation dan metode Moore Correlation dengan mengintegrasikan parameter rheologi lumpur dan geometri sumur, dimana data dari pengamatan langsung dilapangan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada interval kedalaman 5762-8823 ft, nilai slip velocity Chien (0,092-0,156 ft/detik), sedang nilai slip velocity Moore (0.0054-0.0126 ft/detik), secara konsisten lebih rendah dibandingkan kecepatan kritis (3.6758-4.7727 ft/detik), dengan cutting transport ratio Chien mencapai 90,07-93,90%, sedangkan cutting transport ratio Moore mencapai 99.2609 % sampai 99.66% Kondisi ini mengindikasikan pengangkatan cutting yang optimal dan aliran laminar yang terjaga, sehingga berhasil mencegah risiko pipe sticking dan mempertahankan integritas formasi. Temuan penelitian merekomendasikan penerapan metode ini sebagai standar evaluasi hidrolika pemboran dengan memperhatikan variasi karakteristik formasi pada studi lanjutan.

Kata kunci: Cutting, Chien, Moore, Slip Velocity

I. PENDAHULUAN

Transportasi *cuttings* ke permukaan merupakan aspek kritis yang sangat bergantung pada kinerja sistem sirkulasi lumpur (Agwu et al., 2021; Arain et al., 2022; Esfandyari Bayat et al., 2021). *Cuttings* atau serpihan batuan yang dihasilkan oleh sistem putar pemboran memiliki massa jenis lebih tinggi daripada fluida pemboran, sehingga cenderung mengendap ke dasar lubang akibat gravitasi (Mahmoud et al., 2020; Vryzas & Kelessidis, 2017). Fenomena ini dikenal sebagai *slip velocity*, yaitu kecepatan jatuh *cuttings* yang berlawanan arah dengan aliran lumpur. Untuk mengatasi kecenderungan ini, lumpur pemboran harus memiliki kemampuan angkat (*lifting velocity*) yang memadai, yang dihasilkan dengan mensirkulasikannya melalui pipa bor dan ke atas annulus (Agriandita, 2021). Oleh karena itu, penentuan kecepatan aliran minimum di annulus menjadi kunci untuk memastikan efisiensi pengangkatan *cuttings* ke permukaan. Penelitian berjudul “Evaluasi *Slip Velocity* dengan Metode *Chien Correlation* pada Sumur BSU Lapangan Bunyu” dilakukan untuk menganalisis aspek fundamental ini guna mengoptimasi kinerja pemboran.

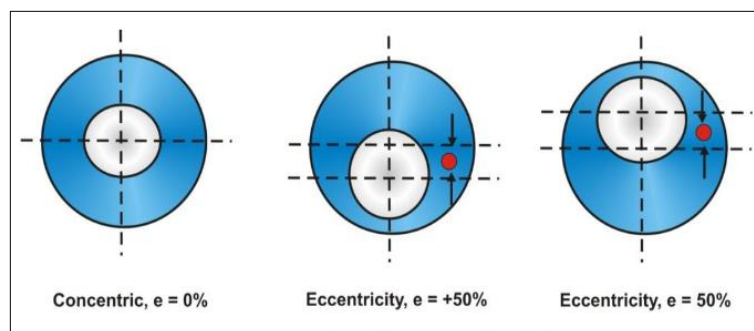


Gambar 1 Cutting Pada Annulus (Askari et al., 2021)

Tidak terangkatnya *cuttings* secara optimal dari dasar sumur ke permukaan merupakan masalah kritis dalam operasi pemboran yang dapat mengakibatkan akumulasi serpihan batuan di dalam annulus (Sabarlele & Suranta, 2022). Akumulasi ini memicu sejumlah dampak operasional yang merugikan. Pertama, terjadi penurunan laju penetrasi (*Rate of Penetration/ROP*) akibat proses *regrinding*, di mana *cuttings* yang tidak terangkat tergiling kembali oleh mata bor. Kedua, beban *drag* dan *torque* pada rangkaian pipa bor meningkat secara signifikan karena gesekan yang lebih besar terhadap endapan *cuttings*. Dampak paling severe adalah meningkatnya risiko *pipe sticking*, yaitu terjepitnya pipa pemboran (*drill string*) baik secara mekanis (*mechanical sticking*) maupun akibat tekanan diferensial (*differential sticking*) karena tumpukan *cuttings* yang padat (Rikumahu & Branchiny Imasuly, 2025). Oleh karena itu, evaluasi yang akurat terhadap *slip velocity* dalam penelitian “Perbandingan Evaluasi *Slip Velocity* Metode Chien dengan *Moore Correlation* pada Sumur BSU Lapangan Bunyu” menjadi

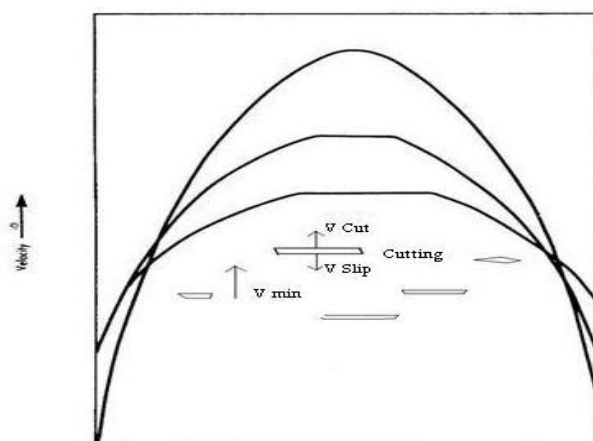
landasan untuk memitigasi seluruh risiko operasional tersebut dan menjamin kelancaran aktivitas pemboran.

Efisiensi pengangkatan *cuttings* ke permukaan dipengaruhi oleh beberapa faktor kunci yang saling berinteraksi (Subraja et al., 2022). Faktor utama adalah kecepatan aliran fluida di annulus, yang merupakan fungsi dari laju alir pompa (*pump rate*) dan luas penampang annulus. Selain itu, kemampuan fluida untuk membawa *cuttings* sangat bergantung pada sifat reologi lumpur pemboran, seperti densitas, viskositas plastis (*plastic viscosity*), dan *yield point*, yang menentukan kemampuan menahan partikel dalam suspensi serta jenis alirannya, apakah laminar atau turbulen (Akpan et al., 2019). Parameter operasional juga memberikan pengaruh signifikan, diantaranya laju penetrasi (*Rate of Penetration/ROP*) yang mengontrol volume *cuttings* yang dihasilkan, dan kecepatan putar pipa bor (*RPM*) yang membantu mengganggu endapan (Fathaddin et al., 2024).



Gambar 2 Eksentrisitas Drillpipe

Faktor geometris seperti eksentrisitas pipa bor, yaitu posisi pipa yang tidak konsentris di dalam lubang bor, juga secara langsung mempengaruhi profil kecepatan aliran dan efisiensi pengangkatan di sepanjang annulus (Saasen, 2013; Wang et al., 2025). Evaluasi komprehensif terhadap seluruh faktor inilah yang menjadi fokus dalam penelitian ini dengan menerapkan korelasi *Chien*.



Gambar 3 Hubungan Cutting, Velocity slip & Velocity min

Dalam mekanisme pengangkatan *cuttings*, tiga parameter kecepatan memegang peran kritis. Parameter-parameter tersebut adalah *slip velocity* (V_{slip}), yaitu kecepatan akhir jatuh *cutting* di dalam fluida diam yang menyebabkan pengendapan; *cutting velocity* (V_{cut}), yang merupakan kecepatan aktual *cutting* bergerak naik ke permukaan bersama aliran fluida; dan *minimum velocity* (V_{min}), yaitu

Perbandingan Evaluasi Slip Velocity Metode Chien dengan Metode Moore Corelation pada Sumur BSU Lapangan Bunyu

kecepatan aliran minimum fluida di annulus yang diperlukan untuk mengangkut *cuttings* secara efektif. Secara fundamental, kecepatan minimum ini harus lebih besar daripada jumlah *slip velocity* dan *cutting velocity* ($V_{min} > V_{slip} + V_{cut}$) untuk memastikan *cuttings* terangkat tanpa terjadinya pengendapan kembali dan penggerusan ulang (*regrinding*).

$$V_{cut} = V_m - V_{sl} \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan

V_{cut} = kecepatan *cutting*, ft/menit,

V_m = kecepatan lumpur, ft/menit

V_{sl} = kecepatan *slip*, ft/menit

Keberhasilan pengangkatan *cuttings* ditentukan oleh keseimbangan dinamis antara beberapa parameter kecepatan, yaitu *slip velocity* (V_{sl}) sebagai laju pengendapan *cutting*, *cutting velocity* (V_{cut}) sebagai laju aktual naiknya *cutting*, dan kecepatan minimum aliran fluida (V_{min}) yang diperlukan untuk transportasi efektif (Guo & Liu, 2011). Disisi lain, integritas formasi di dinding lubang bor yang belum ter-casing, yang dilindungi oleh lapisan mud cake, harus dijaga dengan mempertahankan aliran laminar. Transisi menuju aliran turbulen, yang dapat mengikis lapisan pelindung ini, dapat diindikasikan dengan bilangan reynolds. Nilai kritis bilangan reynolds 2000 menjadi batas atas untuk mempertahankan aliran laminar, yang kemudian mendefinisikan kecepatan kritis aliran di anulus (Saldana et al., 2024). Untuk menganalisis mekanisme pengendapan ini, evaluasi *slip velocity* menjadi krusial. Dalam konteks ini, metode *Chien Correlation* diterapkan untuk menghitung *slip velocity* guna mensimulasikan laju jatuhnya *cuttings* secara lebih akurat under kondisi fluida *non-Newtonian*.

Analisis *slip velocity* merupakan komponen kritis dalam mengevaluasi efisiensi pengangkatan *cuttings* selama proses pemboran. Evaluasi ini umumnya dilakukan melalui dua pendekatan utama. Pertama, dengan menghitung *Cutting Transport Ratio*, dimana nilai rasio minimal 90% menjadi indikator bahwa *cuttings* terangkat secara efektif. Kedua, melalui perhitungan langsung *slip velocity* itu sendiri. Analisis *slip velocity* ini merupakan fungsi dari berbagai sifat fisik fluida dan parameter operasional, antara lain *plastic viscosity* (PV), *yield point* (YP), densitas lumpur, densitas partikel *cutting*, diameter partikel, laju pemompaan (Q), diameter lubang bor (D_h), dan diameter pipa bor (d_p). Dalam penelitian ini, perhitungan *slip velocity* (V_s) dilakukan menggunakan korelasi *Chien*. Hasil perhitungan kemudian diverifikasi dengan *Cutting Transport Ratio*. Suatu kondisi dinyatakan optimal apabila dua kriteria terpenuhi secara simultan: *Cutting Transport Ratio* > 90% dan nilai *slip velocity* yang diperoleh lebih kecil dari kecepatan kritis aliran, yang menjamin pengangkatan *cuttings* yang baik tanpa terjadi pengendapan signifikan (Haryono et al., 2022).

II. METODOLOGI

Dalam penelitian evaluasi *slip velocity* pada Sumur BSU Lapangan Bunyu ini, metode penelitian diawali dengan pengumpulan data primer secara sistematis selama operasi pemboran berlangsung. Data

yang diambil meliputi parameter operasional dan sifat fluida pemboran, yaitu *mud weight* yang diukur secara periodik menggunakan *mud balance*, dimensi lubang bor sesuai diameter *bit* yang digunakan, panjang rangkaian pipa bor, serta tekanan dan *rate* pemompaan yang tercatat pada *manometer* dan *log bor*. Penelitian ini menerapkan metode korelasi *Chien* dan metode *Moore* untuk menganalisis *slip velocity*, dengan variabel terikatnya merupakan fungsi dari parameter *rheologi* lumpur dan geometri annulus. Proses analisis dilakukan melalui perhitungan *slip velocity* (V_s) berdasarkan asumsi kondisi tertentu, yang kemudian diverifikasi validitasnya melalui perhitungan *Cutting Transport Ratio*. Verifikasi ini dilakukan secara *stepwise* untuk memastikan keakuratan hasil evaluasi terhadap efisiensi pengangkatan *cuttings*.

a. Kecepatan Aliran Lumpur di Anulus (V_a)

Berdasarkan laju alir lumpur (*flow rate*) serta diameter lubang bor dan pipa bor, kecepatan aliran lumpur di anulus dapat dihitung melalui persamaan berikut:

$$V_a = Q / A_a \quad \dots\dots\dots (2)$$

dimana V_a adalah Kecepatan aliran dalam anulus (ft/menit), Q adalah Laju alir pemompaan (ft³/menit), A_a adalah Luas penampang anulus (ft²) yang merupakan selisih antara luas penampang lubang bor dan luas penampang pipa bor, atau secara matematis dinyatakan sebagai $A_a = \pi/4 \times (D_h^2 - D_p^2)$ dimana D_h sebagai diameter lubang bor dan D_p sebagai diameter pipa bor. Sehingga dihasilkan:

$$V_{an} = Q / \{2.448(D_h^2 - D_p^2)\} \quad \dots\dots\dots (3)$$

b. Kecepatan Kritis (v_c)

Kecepatan kritis adalah batas kecepatan yang menentukan perubahan perilaku atau pola aliran lumpur tersebut, dimana kecepatan aliran di annulus harus lebih besar dari kecepatan kritis tertentu agar serbuk bor (*cutting*) dapat terangkat ke permukaan dan tidak mengendap di dasar lubang bor.

$$V_c = \frac{1.08 + 1.08 \sqrt{PV^2 + 9,256(d_h - d_{op})^2 YP \rho_m}}{\rho_m(d_h - d_{op})} \quad \dots\dots\dots (4)$$

c. Kecepatan v-slip

Kecepatan *V-slip* atau *Velocity of Slip* adalah kecepatan serbuk bor yang turun kembali ke dasar sumur saat sirkulasi lumpur berhenti atau melambat. V_{slip} dapat dihitung dengan menggunakan persamaan di bawah ini.

$$v_s = 0,0075x \left(\frac{PV}{pf \cdot dp} \right) \left[\sqrt{\left(\frac{36.800 \times dp}{\left(\frac{PV}{pf \cdot dp} \right)^2} \right) x \left(\frac{Dp - \rho_f}{\rho_f} \right) + 1} - 1 \right] \quad \dots\dots\dots (5)$$

d. Rasio Reynold Number (NP)

Bilangan Reynolds adalah bilangan tidak berdimensi yang menunjukkan rasio antara gaya inersia dan gaya viskositas dalam suatu aliran fluida, dimana bilangan ini digunakan untuk mengkarakterisasi jenis aliran fluida. Bilangan Reynold dapat dihitung dengan menggunakan persamaan di bawah ini.

Perbandingan Evaluasi Slip Velocity Metode Chien dengan Metode Moore Corelation pada Sumur BSU Lapangan Bunyu

$$Np = 928 \frac{\rho_f \cdot v_s \cdot D_s}{\mu} \dots\dots\dots (6)$$

e. Menghitung Cutting Transport Ratio atau Transport Ratio

Ft merupakan parameter yang menunjukkan efisiensi atau kemampuan lumpur pemboran dalam mengangkat serbuk bor (*cutting*) dari dasar lubang ke permukaan. dalam evaluasi hidrolika, nilai Ft dianggap baik atau menunjukkan pengangkatan yang efektif adalah jika mencapai $\geq 90\%$. Ft dihitung dengan persamaan:

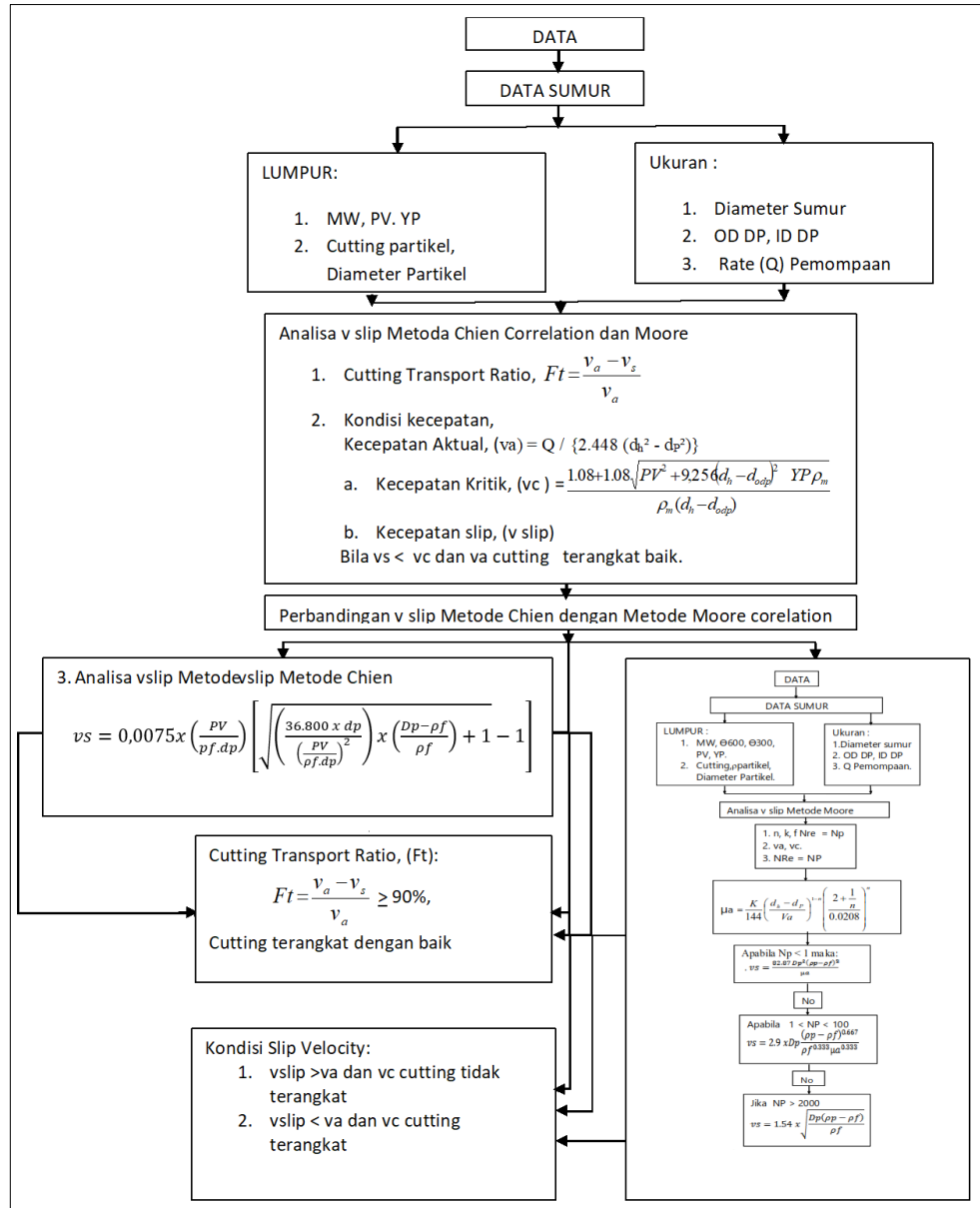
$$Ft = \frac{v_a - v_s}{v_a} \dots\dots\dots (7)$$

Diagram alir Analisa slip velocity pada sumur Bunyu BSB dengan metode Chien dengan Metode Moore corelation, dilihat pada gambar 4.

Parameter Operasional: P adalah tekanan surge gel, (psi), L adalah kedalaman sumur, (ft), d_h adalah diameter lubang bor, (in), d_p adalah diameter luar pipa bor, (in), d_i adalah diameter dalam pipa bor, (in), Q adalah laju sirkulasi, (gal/min), V_p adalah kecepatan aliran pipa, (ft/min). Parameter Fluida dan Reologi: ρ_m adalah densitas lumpur, (ppg), ρ_f adalah densitas fluida pemboran, (ppg), T adalah kekuatan gel, (lbf/100 ft²), PV adalah viskositas plastis, (cp), y_p adalah yield point, (lbf/100 ft²), μ adalah viskositas lumpur, (cp), Rh 300 & Rh 600 adalah Pembacaan rheometer. Parameter Kecepatan dan Partikel: v_a adalah Kecepatan aliran lumpur (ft/min), v_m adalah Kecepatan fluida maksimum, (ft/min), v_s adalah Kecepatan slip partikel, (ft/det), v_{an} adalah Kecepatan annular, (ft/det), ρ_p adalah Densitas partikel, (ppg), d_p adalah Diameter partikel, (in), c_d adalah Koefisien drag, (fraksi).

Analisa *slip velocity* pada penelitian ini dapat diilustrasikan seperti pada Gambar 4 yaitu evaluasi efisiensi pengangkatan cuttings pada Sumur Bunyu BSU dilakukan melalui analisis slip velocity menggunakan metode Korelasi Chien dan Moore yang mengintegrasikan parameter reologi fluida dan geometri sumur. Metode ini diawali dengan pengumpulan data primer meliputi sifat lumpur (*mud weight, plastic viscosity, yield point*), dimensi sumur (*hole diameter, drill pipe OD/ID*), dan parameter operasional (*flow rate*).

Tahap analitis meliputi perhitungan kecepatan aktual annulus (v_a) berdasarkan laju alir dan luas penampang, perhitungan kecepatan kritis (v_c) untuk mempertahankan aliran laminar, serta penentuan slip velocity (v_s) yang memperhitungkan densitas partikel dan sifat non-Newtonian fluida. Evaluasi kinerja dilakukan melalui Cutting Transport Ratio (Ft) dengan kriteria $Ft \geq 90\%$ dan persyaratan $v_s < v_c$ untuk memastikan pengangkatan optimal. Hasil analisis menjadi dasar rekomendasi operasional dalam mencegah akumulasi cuttings yang dapat menyebabkan pipe sticking dan penurunan rate of penetration.



Gambar 4 Diagram Alir Analisa *Slip Velocity* Pada Sumur Bunyu Bsu Dengan Metode *Chien* Dengan Metode *Moore Correlation*

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Keberhasilan transportasi cuttings ke permukaan selama operasi pemboran sangat bergantung pada integrasi beberapa parameter kunci. Faktor geometri sistem, yang mencakup diameter lubang bor dan konfigurasi pipa bor, membentuk ruang alir annulus yang menentukan profil kecepatan fluida. Sementara itu, sifat reologi lumpur pemboran seperti *yield point* dan *viskositas plastis* berpengaruh langsung terhadap kemampuan fluida dalam membawa partikel. Karakteristik *cuttings* sendiri, termasuk ukuran dan densitas partikel, menentukan besarnya gaya gravitasi yang harus diatasi oleh sistem.

Parameter operasional, khususnya laju alir pompa, menetapkan kapasitas angkat hidrodinamik yang tersedia. Interaksi dinamis antara faktor geometri, sifat fluida, karakteristik partikel, dan kondisi

Perbandingan Evaluasi Slip Velocity Metode Chien dengan Metode Moore Corelation pada Sumur BSU Lapangan Bunyu

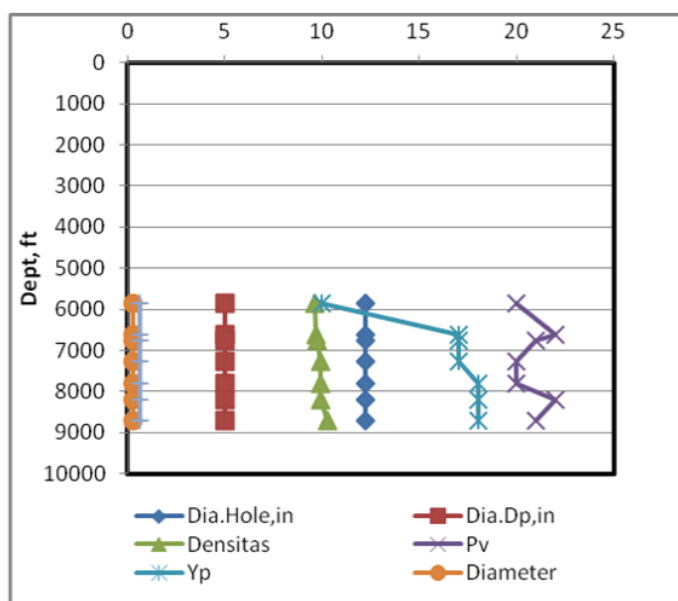
operasional inilah yang secara kolektif menentukan efisiensi pembersihan lubang bor dan mencegah akumulasi cuttings di dasar sumur.

Tabel 1 Data Sumur BSU dan Rheology Lumpur

N o	Dept h ft	Dia.Hol e in	Dia.D p in	MW ppg	Pv lb/100 ft ²	Yp lb/100 ft ²	Q,Pomp a gpm	Densitas Part.pp g	Diamete r Part.ppg
1	5762	12 1/4	5	9.58	20	10	442	10.2	0.30
2	6320	12 1/4	5	9.58	22	17	482	10.3	0.30
3	6776	12 1/4	5	9.66	21	17	482	10.4	0.30
4	7399	12 1/4	5	9.83	20	17	482	10.5	0.30
5	8098	12 1/4	5	9.91	20	18	466	10.2	0.30
6	8357	12 1/4	5	9.91	22	18	466	10.4	0.30
7	8823	12 1/4	5	10.2	21	18	482	10.6	0.30

5

Berdasarkan data operasional Sumur BSU Bunyu yang tercantum pada Tabel 1 dan Gambar 5, analisis kinerja pengangkatan cuttings dilakukan pada sumur eksplorasi vertikal dengan interval kedalaman 5762-8823 ft. Konfigurasi geometri sumur menggunakan diameter lubang 12,5 inci dan drill pipe 5 inci, dengan laju alir pemompaan (Q) berkisar antara 442-482 gpm. Parameter reologi lumpur menunjukkan variasi *plastic viscosity* (PV) 20-22 cp dan yield point (YP) 10-18 lb/100ft², sementara karakteristik *cuttings* memiliki densitas 10,2-10,6 ppg dengan diameter partikel 0,30 inci.



Gambar 5 Grafik Depth Vs data Sumur BSU

Variasi parameter tersebut dianalisis lebih lanjut dalam Gambar. 6 yang memvisualisasikan hubungan kedalaman terhadap parameter sumur, menjadi dasar evaluasi slip velocity menggunakan korelasi Chien untuk menentukan efisiensi transportasi *cuttings* pada berbagai kondisi operasional.

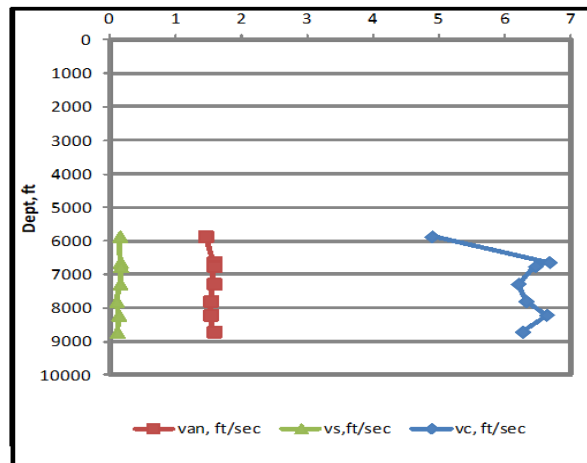
Tabel 2 Analisa Kecepatan aliran Lumpur (v_{an}), v_{kritik} (v_c) dan v_{slip} dan N_p terhadap Depth (ft)

No.	Depht, ft.	v_a , ft/sec	v_c , ft/sec.	v_{slip} , Chien	v_{slip} , Moore	v_{slip} , $N_p < 1$
1	5762	1.4437	3.6758	0.1433	0.0126	0.0916
2	6320	1.5744	4.7239	0.1537	0.0110	0.0602
3	6776	1.5744	4.6852	0.1566	0.0116	0.0663
4	7399	1.5744	4.6264	0.15	0.0110	0.0657
5	8098	1.5221	4.7727	0.0928	0.0070	0.0388
6	8357	1.5221	4.7617	0.1278	0.0070	0.0372
7	8823	1.5744	4.6624	0.1039	0.0054	0.0315

Nilai kecepatan lumpur diannulus v_a , kecepatan kritis v_c dan kecepatan slip v_{slip} dengan metode Chien dan Moore korelasi terlihat pada tabel 3 juga validasi N_p dari iterasi nilai v_{slip} Moore lebih kecil dari satu ($N_p < 1$).

Tabel 3 Analisa Kecepatan Aliran Lumpur (V_{an}), v_{slip} dan v Kritis (V_c) terhadap Depth (ft)

No	Depht, ft	V_{an} , ft/sec	V_s Chien, ft/sec.	V_c , ft/sec.
1	5762	1.44	0.1433235	3.6758
2	6320	1.57	0.1537406	4.7239
3	6776	1.57	0.1566281	4.6852
4	7399	1.57	0.1499622	4.6264
5	8098	1.52	0.0928204	4.7727
6	8357	1.52	0.1277834	4.7617
7	8823	1.57	0.1039413	4.6624

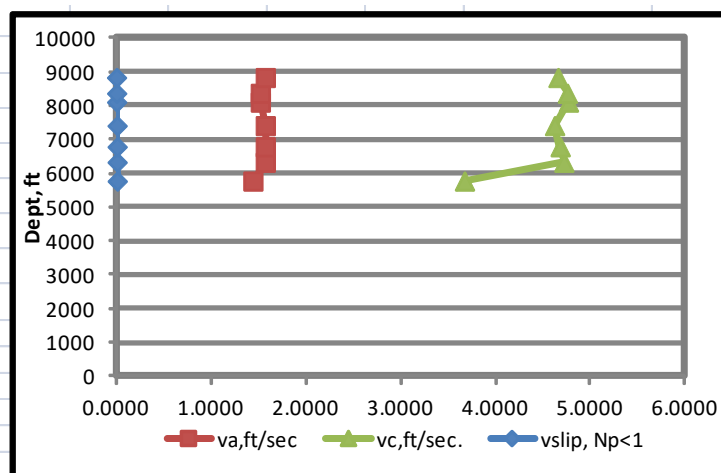


Gambar 6. Grafik Depth Versus Kecepatan V_{an} , V_s dan V_c

Tabel 4. Analisa Kecepatan Anulus (V_{an}), V_{slip} Moore dan V kritis (V_c) terhadap Depth (ft)

No	Depht, ft	V_{an} , ft/sec	V_s Moore, ft/sec.	V_c , ft/sec.
1	5762	1.44	0.0126	3.6758
2	6320	1.57	0.0110	4.7239
3	6776	1.57	0.0116	4.6852
4	7399	1.57	0.0110	4.6264
5	8098	1.52	0.0070	4.7727
6	8357	1.52	0.0070	4.7617
7	8823	1.57	0.0054	4.6624

Perbandingan Evaluasi Slip Velocity Metode Chien dengan Metode Moore Corelation pada Sumur BSU Lapangan Bunyu

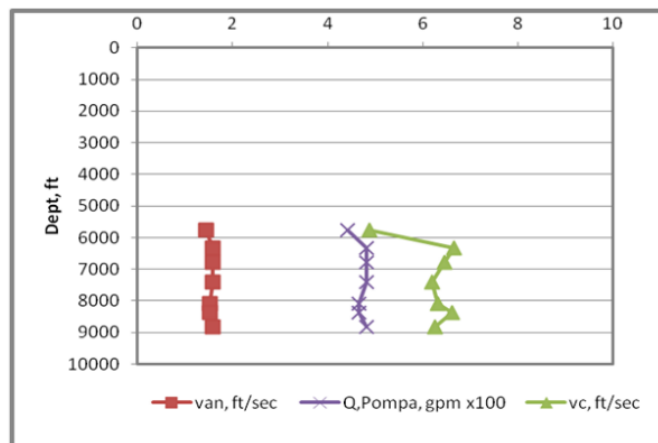


Gambar 7 Grafik Depth Versus V_{an} , V_s dan V_c

Berdasarkan hasil analisis yang disajikan pada Tabel 3 dan 4 dan Gambar 6 dan 7, dapat disimpulkan bahwa efisiensi pengangkatan *cuttings* pada interval kedalaman 5762-8823 ft terbukti optimal. Profil kecepatan aktual (V_a) yang tercatat berada pada rentang 1,44-1,57 ft/detik, sementara kecepatan kritis (V_c) menunjukkan nilai signifikan lebih tinggi antara 3.6758-4.7727 ft/detik. Kondisi ini menjamin terpeliharanya aliran laminar yang berperan penting dalam melindungi integritas formasi dari erosi akibat aliran fluida. Lebih lanjut, nilai *slip velocity* (V_s) Chien yang berkisar antara 0,092-0,156 ft/detik dan nilai *slip velocity* (V_s) Moore berkisar antara 0.0054 sampai 0.0126 ft/det secara konsisten berada di bawah kecepatan kritis, dan mengindikasikan bahwa mekanisme pengangkatan *cuttings* berlangsung efektif tanpa terjadi akumulasi material di dasar sumur.

Tabel 5 Analisa, Laju Alir Pemompan (gpm). Kecepatan Actual,(ft/sec) dan Kecepatan Kritis,(ft/sec) Terhadap Depth (ft)

No	Depth ft	Q,Pompa, gpm	V_{an} , ft/sec	V_c , ft/sec
1	5762	442	1.44	3.6758
2	6320	482	1.57	4.7239
3	6776	482	1.57	4.6852
4	7399	482	1.57	4.6264
5	8098	466	1.52	4.7727
6	8357	466	1.52	4.7617
7	8823	482	1.57	4.6624



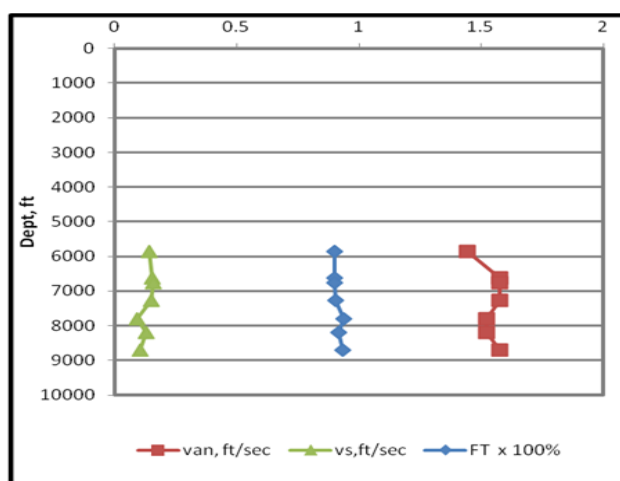
Gambar 8. Grafik Depth Vs Q Pompa (gpm), V_a (ft/Sec) dan V_c (ft/sec).

Berdasarkan analisis data pada Tabel 5 dan Gambar 8 mengenai hubungan kedalaman terhadap laju pemompaan dan parameter kecepatan, dapat disimpulkan bahwa karakteristik aliran fluida dalam annulus pada interval kedalaman 5762-8823 ft menunjukkan pola yang konsisten. Nilai laju pemompaan (Q) berkisar antara 442-482 gpm dengan kecepatan aktual (V_a) sebesar 1,44-1,574 ft/detik, sementara kecepatan kritis (V_c) tercatat dalam rentang 3.6758-4.7727 ft/detik. Kondisi dimana $V_a < V_c$ pada seluruh interval kedalaman mengindikasikan bahwa aliran fluida bersifat laminar. Pola aliran laminar ini merupakan kondisi yang diharapkan dalam operasi pemboran karena meminimalkan tegangan geser pada dinding lubang sumur, sehingga dapat mencegah kerusakan formasi dan menjaga integritas zona produktif di sepanjang interval pemboran.

Tabel 6. Depth(ft/sec) versus Transport Ratio (%) Chien

No	Depth ft	V_{an} ft/sec	V_s Chien ft/sec.	$(V_a - V_s)/V_a$	Ft x100%
1	5762	1.44	0.143323	0.9007265	90.072646
2	6320	1.57	0.153741	0.9023483	90.234826
3	6776	1.57	0.156628	0.9005142	90.051419
4	7399	1.57	0.149962	0.9047482	90.474817
5	8098	1.52	0.09282	0.9390188	93.901881
6	8357	1.52	0.127783	0.9160488	91.60488
7	8823	1.57	0.103941	0.9339794	93.397938

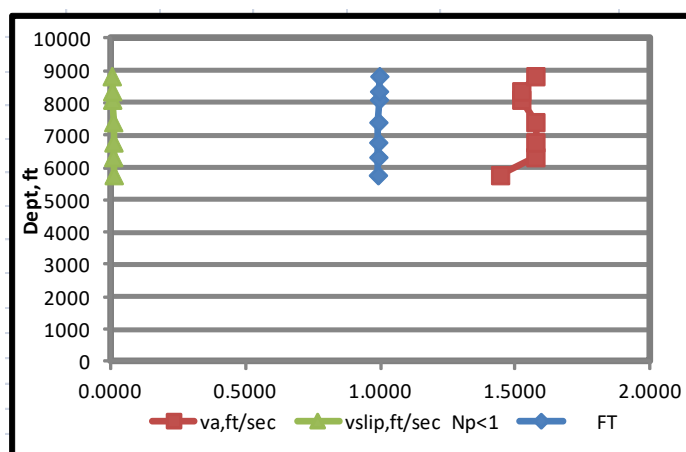
Perbandingan Evaluasi Slip Velocity Metode Chien dengan Metode Moore Corelation pada Sumur BSU Lapangan Bunyu



Gambar 9 Grafik Depth (ft) Versus Transport Ratio (%), Chien

Tabel 7 Depht (ft/sec) Versus Transport Ratio (%) Moore

No	Depht, ft	V_{an} , ft/sec	V_s Moore, ft/sec.	$(V_a - V_s)/V_a$	$F_t \times 100\%$
1	5762	1.44	0.0126	0.9913	99.1264
2	6320	1.57	0.0110	0.9930	99.3003
3	6776	1.57	0.0116	0.9926	99.2609
4	7399	1.57	0.0110	0.9930	99.3039
5	8098	1.52	0.0070	0.9954	99.5431
6	8357	1.52	0.0070	0.9954	99.5406
7	8823	1.57	0.0054	0.9966	99.6570



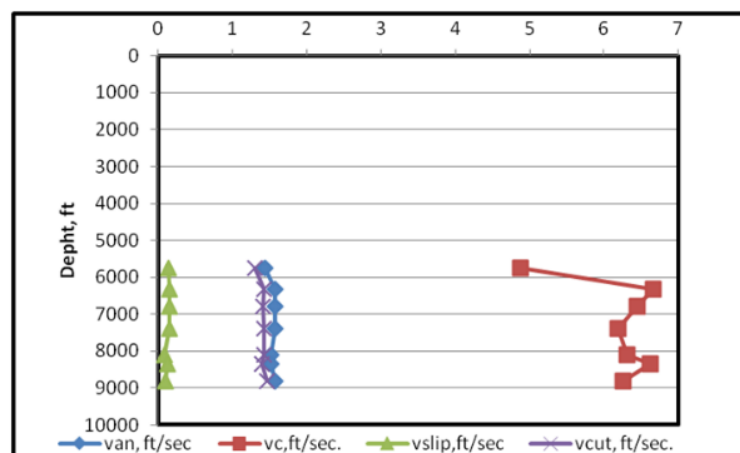
Gambar 10 Grafik Depth (ft) Versus Transport Ratio (%), Moore

Berdasarkan analisis data pada Tabel 6, 7 dan Gambar 9,10 mengenai hubungan kedalaman terhadap parameter transportasi *cuttings*, dapat disimpulkan bahwa efisiensi pengangkatan *cuttings* pada interval kedalaman 5762-8823 ft menunjukkan kinerja yang optimal. Kecepatan annular (V_{an}) tercatat dalam rentang 1,44-1,57 ft/detik dengan nilai *slip velocity* (V_{slip}) Chien berkisar antara 0,0928-0,1566 ft/detik. Rasio transport (F_t) Chien yang dihasilkan mencapai nilai 90,07% hingga 93,90%, sedangkan nilai *slip velocity* (V_{slip}) Moore berkisar antara 0.0054-0.0126 ft/detik. Rasio transport (F_t) Moore yang dihasilkan mencapai nilai 99.2609 % hingga 0.9966 %, dimana seluruh nilai ini memenuhi atau melampaui batas minimum 90% yang menjadi standar efisiensi pengangkatan. Kondisi ini

mengindikasikan bahwa mekanisme transportasi cuttings berlangsung secara efektif sepanjang interval kedalaman yang dianalisis, dengan kemampuan angkat fluida pemboran yang mampu mengatasi kecenderungan pengendapan partikel ke dasar sumur.

Tabel 8 Depth Versus V_a , (ft/Sec), V_c , (ft/Sec), V_s Chien dan V_{cut} , (ft/sec).

No.	Depth, ft	V_a , ft/sec.	V_c , ft/sec.	V_{slip} Chien, ft/sec.	V_{cut} , ft/sec.
1	5762	1.444	3.6758	0.143	1.3
2	6320	1.574	4.7239	0.154	1.421
3	6776	1.574	4.6852	0.157	1.418
4	7399	1.574	4.6264	0.15	1.424
5	8098	1.522	4.7727	0.093	1.429
6	8357	1.522	4.7617	0.128	1.394
7	8823	1.574	4.6624	0.104	1.47

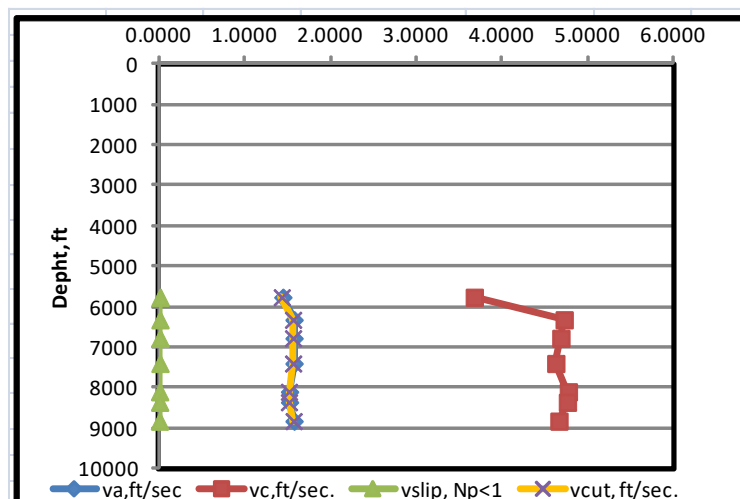


Gambar 11 Grafik Depth Versus V_a , (ft/Sec), V_c , (ft/sec), V_{slip} Chien, (ft/Sec) dan V_{cut} , (ft/sec).

Tabel 9 Depth Versus V_a , (ft/Sec), V_c , (ft/Sec), V_{slip} Moore dan V_{cut} , (ft/sec).

No.	Depth, ft	V_a , ft/sec.	V_c , ft/sec.	V_{slip} Moore, ft/sec.	V_{cut} , ft/sec.
1	5762	1.444	3.6758	0.0126	1.4311
2	6320	1.574	4.7239	0.0110	1.5634
3	6776	1.574	4.6852	0.0116	1.5627
4	7399	1.574	4.6264	0.0110	1.5634
5	8098	1.522	4.7727	0.0070	1.5152
6	8357	1.522	4.7617	0.0070	1.5151
7	8823	1.574	4.6624	0.0054	1.5690

Perbandingan Evaluasi Slip Velocity Metode Chien dengan Metode Moore Corelation pada Sumur BSU Lapangan Bunyu



Gambar 12 Grafik *Depth* Versus V_a , (ft/Sec), V_c , (ft/sec), V_{slip} Moore, (ft/Sec) dan V_{cut} , (ft/sec).

Berdasarkan analisis komprehensif pada Tabel 8, 9 dan Gambar 11, 12 mengenai profil kecepatan versus kedalaman, dapat disimpulkan bahwa mekanisme transportasi cuttings pada interval 5762-8823 ft berlangsung secara optimal. Data menunjukkan kecepatan aktual (V_a) berkisar 1.44-1.57 ft/detik, kecepatan kritis (V_c) antara 3.6758-4.7727 ft/detik, slip velocity (V_s) Chien 0.092-0.156 ft/detik, dan kecepatan cutting (V_{cut}) Moore 1.4311-1.5690 ft/detik, dan slip velocity (V_s) Moore 0.0054-0.0126 ft/detik, dan kecepatan cutting (V_{cut}) Moore 1.4311-1.569 ft/detik. Seluruh nilai V_a , V_s Chien, dan V_{cut} secara konsisten berada di bawah nilai V_c , mengindikasikan terpeliharanya aliran laminar yang optimal. Kondisi ini memastikan tidak terjadi pengendapan cuttings di dasar lubang bor selama operasi pengeboran, sekaligus menjamin integritas formasi melalui minimnya erosi dinding sumur akibat turbulensi aliran..

IV. KESIMPULAN

Hasil evaluasi *slip velocity* menggunakan metode Chien Correlation pada Sumur BSU Lapangan Bunyu, dapat disimpulkan bahwa kinerja pengangkatan *cuttings* berada dalam kondisi optimal. Analisis parameter kecepatan menunjukkan bahwa kecepatan aktual (1.44-1.57 ft/detik) dan *slip velocity* Metode Chien (0.092-0.156 ft/detik) dan *slip velocity* Metode Moore (0.0054-0.0126 ft/detik) secara konsisten berada di bawah kecepatan kritis (3.6758-4.7727 ft/detik), yang memastikan terpeliharanya aliran laminar serta mencegah kerusakan formasi. Nilai *cutting* transport ratio yang mencapai 90.07 - 93.90% (Metode Chien) dan Nilai *cutting* transport ratio yang mencapai 99.2609 - 99.66% (Metode Moore) ini lebih dari 90% mengkonfirmasi efisiensi pengangkatan *cuttings* yang memadai sesuai standar industri. Temuan ini membuktikan bahwa desain parameter hidrolika yang diterapkan telah berhasil mencegah potensi akumulasi *cuttings* dan meminimalkan risiko *pipe sticking*.

DAFTAR REFERENSI

- Arifin, D., Siahaan, E., & Nugroho, H. (2023). Evaluation of feed zones in the Hululais geothermal field, Bengkulu, Indonesia. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 429, 107693. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2023.107693>.
- Bostanci, A., Stefánsson, A., & Gunnarsson, I. (2023). Coupled well–reservoir simulations in geothermal fields: A case study from Reykjanes, Iceland. *Geothermal Energy*, 11, 17. <https://doi.org/10.1186/s40517-023-00277-3>.
- Castaneda, M. (1981). Detection of geothermal feed zones using simultaneous pressure and temperature profiles. In *Proceedings of the Seventh Workshop on Geothermal Reservoir Engineering* (pp. 139–145). Stanford University.
- Dreesen, D. S., Stoller, H. M., & Pearl, R. H. (1987). Wireline and mud logging applications in geothermal wells: Case study from EE-3, New Mexico. *Geothermal Resources Council Transactions*, 11, 399–404.
- Gea Saka, H., et al. (2024). Final well report of DUG-L6, SERD drilling operations. Unpublished company report.
- Gonfalini, M., Pizzini, R., & Colombo, G. (1987). Detection of fractures and evaluation of permeability in volcanic geothermal reservoirs. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 31, 143–160. [https://doi.org/10.1016/0377-0273\(87\)90038-6](https://doi.org/10.1016/0377-0273(87)90038-6).
- Hochstein, M. P., & Sudarman, S. (2008). History of geothermal exploration in Indonesia since 1900. *Geothermics*, 37, 220–266. <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2008.01.001>.
- Ikinya, M., & Ng'ang'a, S. (2018). Wellbore stability challenges in geothermal drilling. *International Journal of Geosciences*, 9, 123–135. <https://doi.org/10.4236/ijg.2018.91009>.
- International Renewable Energy Agency (IRENA). (2023). Global geothermal power capacity report. Abu Dhabi: IRENA Publications.
- Molua, L., Okoro, C., & Nwafor, J. (2022). Mud logging applications in geothermal and hydrocarbon wells. *Energy Exploration & Exploitation*, 40, 1183–1196. <https://doi.org/10.1177/01445987221083714>.
- Moos, D., & Ronne, J. (2010). Optimal logging strategies for geothermal reservoir evaluation. *Geothermal Resources Council Transactions*, 34, 451–459.
- Purwanto, D., Widodo, S., & Raharjo, S. (2018). Cost analysis of geothermal drilling operations in Indonesia. *Energy Procedia*, 145, 345–352. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.04.041>.
- Reynolds, D. (2002). Real-time wellbore monitoring systems for geothermal drilling. In *Proceedings of the Twenty-Seventh Workshop on Geothermal Reservoir Engineering* (pp. 215–222). Stanford University.
- Tsuchiya, N. (2010). Applications of pressure–temperature–spinner (PTS) logging in geothermal wells. *Geothermics*, 39, 167–176. <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2009.11.005>.
- Witter, J. B., Mariner, R. H., & Mase, C. W. (2018). Uncertainty in geothermal exploration: Implications for drilling and reservoir targeting. *Geothermal Energy*, 6, 25. <https://doi.org/10.1186/s40517-018-0108-4>.