

ANALISIS PENGARUH WAKTU *SHUT-IN* TERHADAP TEKANAN SUMUR DAN *PIT GAIN* PADA *WELL KILLING*

Moch. Robbi Jay Affandy¹, Bambang Yudho Suranta^{1*}, Edonva Prianaival Andamel¹

¹Teknik Produksi Minyak dan Gas, PEM Akamigas Cepu, Jl. Gajah Mada No.38, Blora, 58315

*E-mail: yudhosuranta@gmail.com

ABSTRAK

Waktu *shut-in* memegang peranan penting dalam mengendalikan kondisi sumur ketika terjadinya *kick* karena keterlambatan penutupan sumur dapat memperbesar *influx* dan meningkatkan tekanan. Pengaruh waktu *shut-in* terhadap perubahan tekanan sumur dan besarnya *pit gain* dianalisis melalui simulasi menggunakan *Drilling Simulator* dengan variasi *shut-in* antara 1 hingga 5 menit. Parameter yang diamati meliputi *Shut-In Drill Pipe Pressure (SIDPP)*, *Shut-In Casing Pressure (SICP)*, serta *pit gain* sebagai indikator volume fluida formasi yang masuk ke lubang pemboran. Proses *well killing* dilakukan menggunakan *Wait and Weight Method*, dengan perhitungan *Kill Mud Weight (KMW)* berdasarkan nilai *SIDPP* pada setiap skenario *shut-in*. Hasil simulasi menunjukkan bahwa semakin lama *shut-in* dilakukan, semakin besar kenaikan *SIDPP*, *SICP*, dan *pit gain*, yang secara langsung meningkatkan kebutuhan *KMW* dan tingkat kesulitan proses *well killing*. Sebaliknya, *shut-in* yang cepat mampu membatasi *influx* dan menekan kenaikan tekanan, sehingga proses *well control* dapat dilakukan dengan lebih aman dan efisien. Temuan ini menegaskan bahwa kecepatan respons terhadap indikasi *kick* menjadi faktor krusial dalam menjaga keselamatan operasi pemboran.

Kata kunci: *Drilling Simulator, Pit Gain, Wait and Weight Method, Well Control*

1. PENDAHULUAN

Kick adalah peristiwa masuknya fluida formasi ke dalam lubang bor ketika tekanan hidrostatik lumpur lebih rendah dibandingkan tekanan pori formasi, terutama pada zona yang memiliki permeabilitas tinggi [1]. Jika tidak segera dikendalikan, *kick* dapat berkembang menjadi *blowout* yang berpotensi menimbulkan kerusakan peralatan, kehilangan fluida formasi, hingga risiko keselamatan yang serius. Faktor penyebab *kick* antara lain berat jenis lumpur yang tidak mencukupi untuk menahan tekanan pori, kegagalan menjaga lubang pemboran tetap penuh selama aktivitas *tripping*, terjadinya *swabbing*, *lost circulation*, serta kontaminasi lumpur oleh gas, air, atau minyak [2]. Dalam banyak kasus, parameter seperti *pit gain* dan kenaikan tekanan annulus merupakan indikator awal terjadinya *kick* dan harus direspons dengan prosedur *shut-in* yang cepat [3].

Setelah *kick* terdeteksi, tahapan *well control* dilakukan untuk menormalkan kembali tekanan sumur melalui proses *well killing*. Beberapa metode yang umum digunakan adalah *Driller Method*, *Wait and Weight Method*, dan *Concurrent Method* [4]. Dari ketiga metode tersebut, *Wait and Weight Method* dianggap lebih efisien karena hanya membutuhkan satu kali sirkulasi sehingga mampu menurunkan puncak tekanan annulus serta mempercepat stabilisasi sumur dibandingkan *Driller Method* [5]. Metode ini mengutamakan penggantian lumpur awal dengan *kill mud weight (KMW)* yang telah dihitung terlebih dahulu agar tekanan formasi dapat segera diseimbangkan selama proses sirkulasi. Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan *Wait and Weight Method* sebagai prosedur utama dalam simulasi *well killing*.

Dua parameter penting yang menentukan tingkat kesulitan proses *well killing* adalah *pit gain* dan waktu *shut-in* [6]. *Pit gain* menggambarkan jumlah *influx* yang masuk ke dalam *mud*

pit, sedangkan waktu *shut-in* menentukan besarnya tekanan permukaan yang sempat terbentuk sebelum sumur benar-benar ditutup. Respon *shut-in* yang terlambat dapat menyebabkan kenaikan signifikan pada *Shut-In Drill Pipe Pressure (SIDPP)* dan *Shut-In Casing Pressure (SICP)*, serta memperbesar *pit gain*, sehingga meningkatkan kompleksitas proses *well killing* [7]. Parameter tersebut juga berkaitan erat dengan perhitungan *Kill Mud Weight (KMW)*, di mana tekanan *SIDPP* menjadi acuan utama untuk menentukan densitas lumpur baru yang diperlukan untuk menyeimbangkan tekanan pori formasi [8]. Semakin besar influx dan tekanan yang terbentuk akibat keterlambatan *shut-in*, semakin besar KMW yang dibutuhkan. Nilai KMW dihitung menggunakan rumus:

$$KMW = MW + \frac{SIDPP}{TVD \times 0,052} \quad (2)$$

Seiring perkembangan teknologi, *drilling simulator* kini banyak digunakan sebagai alat bantu penelitian dan pelatihan yang mampu mereplikasi fenomena *kick*, respon sumur, hingga dinamika tekanan secara aman dan terkontrol. Simulator seperti Payzone mampu memodelkan kondisi hidraulik, karakteristik formasi, sifat lumpur, serta respons peralatan *well control* sehingga dapat digunakan untuk mengevaluasi berbagai skenario operasi tanpa risiko lapangan [9][10]. Dalam penelitian ini, *drilling simulator* digunakan untuk mengkaji pengaruh variasi waktu *shut-in* terhadap besarnya *pit gain*, *SIDPP*, *SICP*, serta nilai KMW dalam proses *well killing* menggunakan metode *Wait and Weight*. Pendekatan ini diharapkan memberikan pemahaman lebih komprehensif mengenai hubungan antara waktu respon *shut-in* dan tingkat efektivitas *well killing*, sehingga dapat menjadi acuan untuk peningkatan prosedur keselamatan di lapangan [11][12].

2. METODE

Penelitian ini dilakukan menggunakan *drilling simulator* sebagai media eksperimen untuk mereplikasi proses *well control* dan *well killing* pada kondisi pemboran yang mendekati operasi lapangan. Data sumur, konfigurasi rangkaian pemboran, dan properti fluida yang digunakan dalam simulasi dimasukkan ke dalam *drilling simulator* berdasarkan parameter aktual yang tersaji pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter Pemboran

Parameter	Satuan	Nilai
TVD	ft	6015
<i>Bit Depth</i>	ft	5996
<i>OD Drill Pipe</i>	in	5
<i>Measured Length Drill Pipe</i>	ft	5631
<i>OD Collar</i>	in	6,25
<i>Measured Length Collar</i>	ft	380
<i>OD Casing</i>	in	9,625
<i>Measured Length Casing</i>	ft	4500

OD Open Hole	in	8,5
Measured Length Open Hole	ft	1515
Densitas Lumpur	ppg	9
Viskositas Lumpur	cp	18

Simulasi dimulai dengan menstabilkan kondisi pemboran hingga sirkulasi mencapai keadaan normal. Setelah kondisi stabil, *drilling simulator* memicu terjadinya *kick* dari zona *open hole* sehingga menimbulkan peningkatan volume *pit* dan tekanan. Saat indikasi *kick* muncul, prosedur *well shut-in* dilakukan menggunakan *Blowout Preventer (BOP)*. Prosedur *shut-in* divariasikan dalam lima skenario waktu, yaitu 1, 2, 3, 4, dan 5 menit setelah *kick* terdeteksi. Setiap skenario menghasilkan nilai *Shut-In Drill Pipe Pressure (SIDPP)*, *Shut-In Casing Pressure (SICP)*, dan *pit gain* yang dicatat untuk dianalisis lebih lanjut.

Tahap berikutnya adalah proses *well killing* menggunakan *Wait and Weight Method*, yaitu metode satu kali sirkulasi dengan mensirkulasikan *Kill Mud Weight (KMW)* yang telah di hitung sebelum sirkulasi dimulai. Penentuan nilai KMW didasarkan pada tekanan SIDPP hasil *shut-in* tiap skenario, sehingga setiap variasi waktu *shut-in* menghasilkan kebutuhan KMW yang berbeda. Setelah KMW dihitung, lumpur baru disirkulasikan dalam *drilling simulator* seperti tampak pada Gambar 1, untuk mengevaluasi respon tekanan anulus dan kestabilan sumur selama proses *killing*. Seluruh data *shut-in* dan *killing* dianalisis secara komparatif untuk menilai hubungan antara waktu *shut-in*, besarnya *influx*, perubahan SICP dan SIDPP, serta variasi KMW yang diperlukan untuk menormalkan tekanan sumur.



Gambar 1. Drilling Simulator

3. PEMBAHASAN

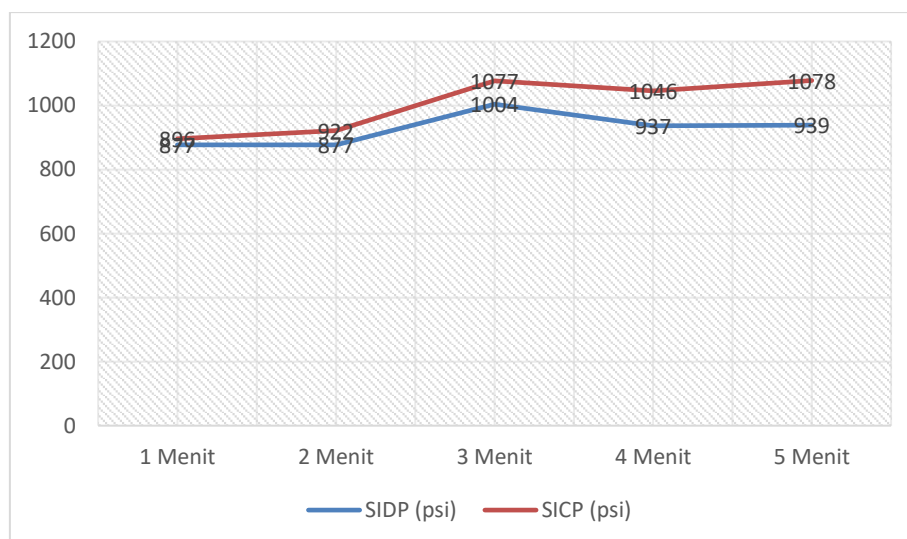
Hasil simulasi menunjukkan bahwa waktu *shut-in* memiliki pengaruh yang signifikan terhadap tekanan *shut-in* dan besarnya *pit gain* yang terbentuk setelah terjadinya *kick*. Variasi *shut-in* yang dilakukan antara 1 hingga 5 menit memberikan pola perubahan tekanan dan *influx* yang konsisten dengan prinsip dasar dinamika *kick*, di mana semakin lama sumur dibiarkan terbuka, semakin besar volume fluida formasi yang masuk ke lubang bor sebelum tekanan permukaan dapat distabilkan. Data lengkap hasil simulasi ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Data Simulasi Perubahan Tekanan dan *Pit Gain* terhadap Waktu *Shut-In*

Waktu <i>Shut-In</i> (menit)	SIDP (psi)	SICP (psi)	Pit Gain (bbls)
1	877	896	2,2
2	877	922	4,8
3	1004	1077	7,5
4	937	1046	10,6
5	939	1078	13,7

A. Pengaruh Waktu *Shut-In* terhadap Tekanan SIDPP dan SICP

Peningkatan tekanan SIDPP dan SICP seiring bertambahnya waktu *shut-in* ditunjukkan pada Gambar 2. Pada *shut-in* menit pertama, tekanan SIDPP masih berada pada 877 psi dan SICP sebesar 896 psi. Namun pada *shut-in* menit kelima, tekanan meningkat menjadi 939 psi untuk SIDPP dan 1078 psi untuk SICP. Kenaikan ini menggambarkan bertambahnya tekanan formasi yang tersalurkan ke permukaan akibat semakin besarnya kolom *influx* dalam anulus.



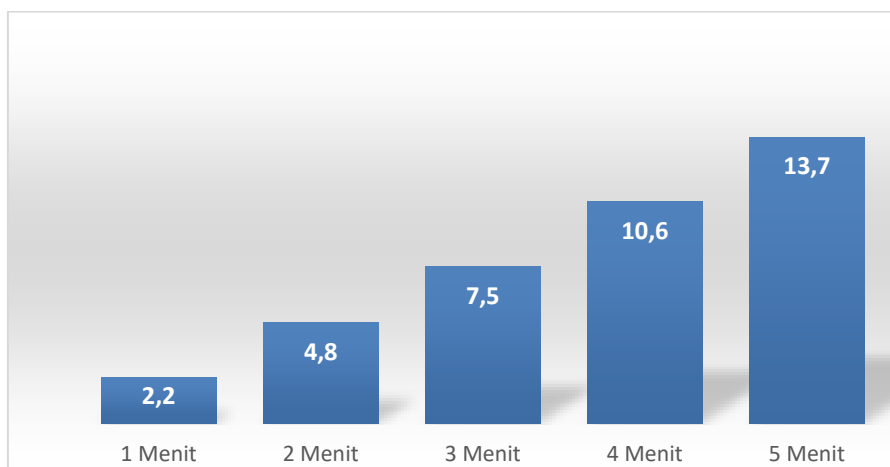
Gambar 2. Perbandingan Nilai SICP dan SIDPP terhadap Waktu *Shut-In*

Fenomena ini sesuai dengan teori *well control* yang menyatakan bahwa tekanan *shut-in* merupakan hasil keseimbangan antara tekanan hidrostatik lumpur dan tekanan pori formasi. Ketika *shut-in* terlambat dilakukan, kolom fluida pemboran kehilangan kemampuan menahan tekanan formasi sehingga *influx* yang masuk menurunkan efektifitas hidrostatik lumpur, menyebabkan tekanan SIDPP dan SICP meningkat secara progresif. Peningkatan SICP yang lebih tinggi dibandingkan SIDPP juga sesuai dengan karakteristik distribusi tekanan dalam anulus, di mana tekanan cenderung terakumulasi lebih besar pada *casing* karena diameter anulus yang lebih besar dan kompresi fluida yang lebih signifikan.

B. Pengaruh Waktu *Shut-In* terhadap *Pit Gain*

Gambar 3 menunjukkan peningkatan *pit gain* dari 2,2 bbls pada *shut-in* menit pertama hingga mencapai 13,7 bbls pada menit kelima. Pertumbuhan *pit gain* ini terjadi karena perbedaan-

an tekanan antara formasi dan lumpur terus mendorong fluida formasi masuk ke dalam lubang pemboran selama sumur belum sepenuhnya ditutup.



Gambar 3. Perbandingan Nilai *Pit Gain* terhadap Waktu *Shut-In*

Pit gain merupakan indikator langsung dari besarnya *influx* yang harus dikendalikan selama proses *well killing*. *Influx* yang semakin besar menyebabkan dua konsekuensi teknis utama yaitu volume fluida yang harus dikeluarkan selama *killing* meningkat, sehingga waktu sirkulasi menjadi lebih lama dan tekanan formasi yang terefleksi ke permukaan bertambah, meningkatkan risiko tekanan melampaui tekanan fraktur formasi. Dengan demikian, *pit gain* yang besar merupakan konsekuensi langsung dari keterlambatan *shut-in*, dan menjadi salah satu penyebab utama meningkatnya kompleksitas proses *well killing*.

C. Dampak Waktu *Shut-In* terhadap Kemudahan *Well Killing*

Kenaikan tekanan SIDPP dan SICP akibat keterlambatan *shut-in* berdampak langsung terhadap kebutuhan densitas *kill mud weight*. Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan metode *Wait and Weight*, nilai KMW untuk *shut-in* menit pertama dan kedua adalah 11,8 ppg, meningkat menjadi 12,2 ppg pada menit ketiga, sebelum sedikit menurun menjadi 12,0 ppg pada menit keempat dan kelima. Variasi ini menunjukkan bahwa SIDPP yang lebih tinggi memerlukan peningkatan densitas lumpur agar tekanan hidrostatik baru mampu menyeimbangkan tekanan formasi.

Dalam konteks operasi *well control*, KMW yang lebih besar berarti tekanan pompa selama sirkulasi akan lebih tinggi, sehingga risiko tekanan anulus melampaui batas tekanan fraktur formasi juga meningkat. Hal ini memperlihatkan bahwa keterlambatan *shut-in* tidak hanya menambah volume *influx* tetapi juga meningkatkan kebutuhan energi pompa dan densitas *kill mud weight* yang diperlukan untuk menormalkan kembali tekanan sumur. Sebaliknya, *shut-in* yang cepat menghasilkan tekanan SIDPP dan SICP yang lebih rendah serta *pit gain* yang kecil, sehingga menghasilkan KMW yang lebih rendah dan proses *killing* yang lebih sederhana.

D. Implikasi Teknik terhadap Operasi *Well Control*

Secara teknis, hubungan antara waktu *shut-in*, *pit gain*, dan tekanan *shut-in* menggambarkan bahwa respon cepat terhadap indikasi *kick* merupakan faktor utama keberhasilan pengendalian sumur. *Shut-in* yang terlambat memperbesar tekanan permukaan, tekanan regresi dalam anulus, kebutuhan densitas KMW, volume *influx* yang harus dipindahkan, dan risiko sumur mencapai tekanan fraktur. Dengan demikian, hasil simulasi ini mengonfirmasi pentingnya

kecepatan dan ketepatan keputusan operator dalam mendeteksi *kick* dan melakukan *shut-in*, terutama ketika menggunakan metode *Wait and Weight* yang sangat bergantung pada tekanan awal sebagai dasar perhitungan KMW.

4. SIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa waktu *shut-in* memiliki pengaruh langsung dan signifikan terhadap besarnya tekanan *shut-in* serta volume pit gain yang terbentuk setelah terjadinya *kick*. Semakin cepat *shut-in* dilakukan, semakin kecil nilai SIDPP, SICP, dan *pit gain* yang dihasilkan. Pada *shut-in* menit pertama, tekanan dan influx masih berada pada tingkat yang rendah sehingga proses *well killing* dapat dilakukan dengan lebih mudah dan aman. Sebaliknya, keterlambatan *shut-in* hingga menit ke-5 menyebabkan peningkatan tekanan dan pit gain yang cukup besar, sehingga proses *well killing* menjadi lebih kompleks dan memerlukan *Kill Mud Weight* (KMW) yang lebih tinggi untuk menyeimbangkan tekanan formasi.

Temuan ini mengindikasikan bahwa respon cepat terhadap indikasi *kick* merupakan faktor kunci dalam menjaga stabilitas sumur dan keberhasilan proses *well killing*, terutama ketika menggunakan metode *Wait and Weight* yang sangat bergantung pada tekanan awal sebagai dasar perhitungan KMW. Secara umum, hasil penelitian ini memperkuat prinsip fundamental *well control* bahwa penundaan *shut-in* akan meningkatkan risiko operasional, memperbesar influx, dan meningkatkan tekanan permukaan, sehingga menuntut prosedur pengendalian yang lebih berat dan berisiko.

Untuk penelitian selanjutnya, disarankan agar dilakukan simulasi dengan variasi kondisi sumur yang berbeda, seperti perubahan densitas lumpur awal, variasi tekanan pori formasi, atau penggunaan metode *well killing* lain seperti *Driller Method* dan *Concurrent Method*. Hal ini akan memberikan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai efektivitas berbagai prosedur *well killing* dalam menghadapi kondisi *kick* yang bervariasi pada operasi pemboran.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Y. Su *et al.*, "Prediction and analysis of flow behavior during gas kicks considering wellbore–formation coupling and gas solubility," *Frontiers in Earth Science*, vol. 13, Apr. 2025.
- [2] A. K. Sleiti, Gorakshnath Takalkar, M. H. El-Naas, A. Hasan, and Mohammad Mafizur Rahman, "Early gas kick detection in vertical wells via transient multiphase flow modelling: A review," vol. 80, pp. 103391–103391, Aug. 2020.
- [3] X. Chen, M. He, M. Xu, S. Wang, and B. Dai, "Early gas kick detection-inversion-control integrated system: The significance of applications of managed pressure drilling: A review," *Geoenergy Science and Engineering*, vol. 229, pp. 212134–212134, Oct. 2023.
- [4] J. Feng, J. Fu, P. Chen, J. Luo, and B. Kou, "Comparisons of the Driller's Method and the Wait and Weight Method in Deepwater Well Killing Operation," *Arabian Journal for Science and Engineering*, vol. 41, no. 7, pp. 2699–2706, Mar. 2016.
- [5] "Driller's Method vs Wait and Weight Method : One offers distinct well control advantages," 2007. Accessed: Nov. 11, 2025.
- [6] S. Z. Miska, G. R. Samuel, and J. J. Azar, "Modeling of Pressure Buildup on a Kicking Well and Its Practical Application," *SPE Drilling & Completion*, vol. 13, no. 04, pp. 207–213, Dec. 1998.
- [7] G. Zhang *et al.*, "Numerical simulation of gas kick evolution and wellbore pressure response characteristics during the deepwater dual gradient drilling," *Petroleum Science*, vol. 22, no. 1, pp. 398–412, Jan. 2025.
- [8] "Fundamentals of Drilling Engineering." Accessed: Nov. 11, 2025.
- [9] H.-C. Chan, M. M. Lee, G. S. Saini, M. Pryor, and E. van Oort, "Development and Validation of a Scenario-Based Drilling Simulator for Training and Evaluating Human Factors," *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, vol. 50, no. 4, pp. 327–336, Aug. 2020.

- [10] Y. Qin, X. Zuo, X. Gao, A. Jiang, B. Yan, and F. Lei, "Design of Semi-physics Simulation Training System for Offshore Drilling Electrical Engineers * *This work was supported by the China National Key Research and Development Plan (No.2016YFC0303703), Science Foundation of China University of Petroleum, Beijing (No. 2462017YJRC028) and COSL (No. ZJB16YF005).," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 51, no. 8, pp. 70–75, 2018.
- [11] R. Y. Yap and Moacyr Bartholomeu Laruccia, "Simulation of Gas Kick and Well Control Procedures," *Advances in energy research and development*, Aug. 2023.
- [12] J. Lee, R. Swarbrick, and S. O'Connor, "Kicks and their significance in pore pressure prediction," *Petroleum Geoscience*, vol. 28, no. 2, Mar. 2022.

Daftar Simbol

KMW	=	Kill Mud Weight, ppg
MW	=	Mud Weight, ppg
SIDPP	=	Shut In Drill Pipe Pressure, psi
SICP	=	Shut In Casing Pressure, psi
TVD	=	True Vertical Depth , ft
OD	=	Outside Diameter, in