

Evaluation and Design of Squeeze Cementing as a Remedial Effort for High Water Production in Well “MAW-11” at “Mata Allo” Field

Muhammad Arfan Wijaya, S¹, Firdaus², Amiruddin³, Abdul Gafar Karim⁴, Mohammad Lutfi^{5*}

¹²³⁴⁵Affiliation; Sekolah Tinggi Teknologi Migas

correspondence e-mail*, m.lutfi@sttmigas.ac.id

Submitted:

Revised: 2023/01/01;

Accepted: 2023/02/21; Published: 2023/06/23

Abstract

This study evaluates the feasibility of using a specific cement composition for the abandonment of a non-productive perforated zone at a depth interval of 2631–2640 ft in well MAW-11, located in the Mata Allo Field. Laboratory tests indicate that the cement formulation meets the required performance standards, with a thickening time of 5 hours and 8 minutes at 116 °F and a compressive strength of 2430 psi after 24 hours at 137 °F. Engineering calculations were conducted to determine slurry volume requirements and injection parameters under two scenarios: tight rate injectivity and high rate injectivity. The results show that both scenarios fall within acceptable operational limits. The estimated total cost for the cementing operation is IDR 166,622,550 under tight-rate conditions and IDR 171,493,750 under high-rate conditions. These findings confirm that the cementing plan is both technically feasible and economically viable.

Keywords

Well cementing, cement slurry, squeeze cementing, spacer, additive, Class G cement.



© 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY SA) license, <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>.

PENDAHULUAN

Cementing merupakan salah satu tahapan penting dalam operasi pemboran minyak dan gas bumi, yang bertujuan untuk memberikan integritas mekanis pada sumur serta mencegah terjadinya migrasi fluida antara zona-zona formasi yang berbeda.^{9,10,4,5} Salah satu permasalahan yang kerap dihadapi pada sumur-sumur tua adalah meningkatnya laju produksi air atau *water cut* yang tinggi akibat degradasi kualitas bonding semen pada casing, terbentuknya *channeling*, atau masalah lain seperti *microannulus* dan kebocoran di zona perforasi.^{1,3,8}

Sumur MAW-11 adalah sumur yang terletak di Lapangan Mata Allo. Pada Sumur MAW-11 terdapat beberapa interval lubang perforasi yaitu pada kedalaman 2631-2640 ft, 2868-2874 ft, 2948-2954 ft, 2970-2974 ft, dan 2985-2999 ft. Permasalahan pada penelitian ini adalah adanya zona

perforasi pada interval 2631-2640 ft yang mengalami 100% *water cut*, sehingga sudah tidak produktif lagi untuk diproduksi. Jika kondisi ini dibiarkan, maka produksi sumur secara keseluruhan akan menjadi tidak optimal. Oleh karena itu, diperlukan kerja ulang (*workover*) untuk menutup zona produksi interval 2631–2640 ft guna memperbaiki kinerja produksi sumur.¹²³⁴⁵

Kerja ulang yang direncanakan adalah pelaksanaan *secondary cementing* dengan metode *squeeze cementing*. Pada desain kali ini, akan dilakukan dua pendekatan perhitungan, yaitu perhitungan untuk *tight rate injectivity* (formasi dengan injektivitas rendah) dan *high rate injectivity* (formasi dengan kehilangan/injektivitas tinggi), untuk menentukan *volume slurry* semen yang diperlukan, jumlah sak semen, pemilihan dan dosis aditif, serta estimasi total biaya operasi.⁶⁷⁸⁹

Metode *squeeze cementing* memerlukan perencanaan yang matang, mulai dari penentuan *volume slurry* berdasarkan *volume tunnel* perforasi dan *allowance* untuk *lost-volume*, pemilihan aditif (*fluid-loss, accelerator, retarder, plugging material*), hingga perkiraan tekanan dan *rate* pemompaan agar sesuai dengan karakteristik formasi target.^{5,7} Selain itu, penilaian aspek ekonomi operasional juga sangat penting untuk memastikan keefektifan teknis dan keekonomian proses remediasi sumur.^{1,5,8,9,10}

Salah satu metode remediasi yang sering dilakukan untuk mengatasi permasalahan ini adalah *secondary cementing* dengan teknik *squeeze cementing*. Metode ini dilakukan dengan cara

¹ Lauma, Aprilia C., Maman Djumantara, and Pauhesti Pauhesti. "Analisis desain squeeze cementing pada sumur apr-04." *Jurnal Penelitian Dan Karya Ilmiah Lembaga Penelitian Universitas Trisakti* (2023): 215-220.

² Irfan, Agung Maulana, Abdul Hamid, and Rizki Akbar. "analisis squeez cementing pada liner 7" untuk penutupan zona perforasi pada sumur x di lapangan o." *Petro: Jurnal Ilmiah Teknik Perminyakan* 9, no. 1 (2020): 1-7.

³ Fitrianti, Fitrianti. "Analisis Kualitas Bonding Cement Di Zona Produktif Sumur BA 147 Menggunakan Ultra Sonic Imager Tool (USIT) Log di Lapangan BOB PT Bumi Siak Pusako-Pertamina Hulu." *Journal of Earth Energy Engineering* 4, no. 2 (2015): 29-43.

⁴ Kurniawan, Deni, KRT Nur Suhascaryo, and Boni Swadesi. "Evaluation of Water Channeling Problems and Planning for Its Improvement Using the Remedial Cementing Method and Its Economics in Well AB-30 Field AB PT. Pertamina EP." *Journal of Petroleum and Geothermal Technology* 3, no. 1 (2022): 24-32.

⁵ Pradana, Haswarpin Yithzak. "Analisi Squeeze Cementing Berdasarkan Data Log Cbl Pada Sumur Ha-11." In *Prosiding Seminar Nasional Cendekiawan*. 2016.

⁶ Youssef, Amir Shokry, Ahmed Abdulhamid Mahmoud, and Salaheldin Elkatatny. "Review of Remedial Cementing: Factors, Design Considerations, and Case Studies." In *ARMA US Rock Mechanics/Geomechanics Symposium*, p. D022S020R018. ARMA, 2024.

⁷ Shokry, Amir, Ahmed Abdulhamid Mahmoud, and Salaheldin Elkatatny. "Review of Remedial Cementing: Techniques, Innovations, and Practical Insights." In *SPE Gas & Oil Technology Showcase and Conference*, p. D021S021R002. SPE, 2024.

⁸ Abdullah, Rizky, and Eko Prastio. "Analisa Pekerjaan Squeeze Cementing dengan Metode Balance Plug Berdasarkan Data CBL & VDL pada Sumur "GZ" Lapangan "BHARA". " *Jurnal Offshore: Oil, Production Facilities and Renewable Energy* 6, no. 1 (2022): 21-28.

⁹ Khaja, Mohammad, Sushil Raturi, Abhijit Dutta, Hassan Haddad, Rajeev Singh, Basavaraj Kunchur, Khadar Hussain et al. "An Enhanced Microfine Cement Design for Special Squeeze Applications." In *SPE Trinidad and Tobago Section Energy Resources Conference*. OnePetro, 2021.

memompa *slurry* semen dalam volume kecil ke zona perforasi bermasalah menggunakan tekanan tinggi dengan bantuan *squeeze packer*, sehingga zona tersebut dapat terisolasi dan mencegah masuknya air formasi ke dalam lubang sumur produksi.^{2,6,9,10}

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menganalisa parameter teknis pada operasi penyemenan sumur dan uji injektivitas berdasarkan data *casing*, *tubing*, perforasi, serta komposisi *slurry* dan aditif semen. Parameter yang dianalisis meliputi kapasitas sumur, *volume slurry*, kebutuhan aditif, *volume spacer*, *displacement* fluida, dan tekanan injeksi maksimum yang aman.

Metode penelitian ini melibatkan pengujian laboratorium terhadap formulasi semen yang digunakan untuk pekerjaan penutupan zona perforasi. Pengujian dilakukan untuk mengetahui waktu pengerasan (*thickening time*) pada suhu 116 °F dan kekuatan tekan (*compressive strength*) pada suhu 137 °F setelah 24 jam.

Untuk mendukung keberhasilan operasi penyemenan dan injeksi di lapangan, diperlukan perhitungan teknis yang cermat terkait kapasitas sumur, volume *slurry*, tekanan injeksi, serta kebutuhan aditif. Perhitungan ini bertujuan untuk memastikan desain yang sesuai dengan kondisi lapangan, efisiensi penggunaan material, serta keamanan dalam pelaksanaan pekerjaan.

Berikut adalah rumus-rumus untuk menghitung kapasitas sumur:

1. $Cap\ casing = \frac{ID\ Csg^2}{1029,4}$
2. $Cap\ tubing = \frac{ID\ Tub^2}{1029,4}$
3. $Cap\ annulus = \frac{ID\ Csg^2 - OD\ Tub^2}{1029,4}$

Perhitungan *Tight Rate Injectivity* dan *High Rate Injectivity* dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan formasi (lapisan batuan) dalam menerima fluida yang diinjeksi, seperti air atau lumpur semen.

Berikut adalah rumus-rumus untuk menghitung *Capacity Cement Slurry*:

1. $7''\ Casing\ Volume = ((Open\ Ended\ String - Top\ Of\ Perforasi) + 50) \times Casing\ Capacity$
2. $Squeeze\ Volume = (BOF - TOF) \times \frac{0,1\ bpm \times 5\ menit}{5,6146\ cuft}$
3. $Total\ Volume\ Slurry = (7''\ Csg\ Volume + Squeeze\ Volume)$
4. $Sack\ Cement = \frac{Total\ volume\ slurry}{yield\ slurry}$
5. $Mix\ Fluid = Sack\ Cement \times Total\ Mix\ Fluida$

$$6. \text{ Cement Slurry} = \text{Sack Cement} \times \text{Yield Slurry}$$

Berikut adalah rumus-rumus untuk menghitung *Cement Additive*:

1. $\text{Fresh Water} = \text{Cement} \times \text{Konsentrasi Fresh Water}$
2. $\text{Defoamer} = \text{Cement} \times \text{Konsentrasi Defoamer}$
3. $\text{Fluid Loss} = \text{cement} \times \text{Konsentrasi Fluid Loss}$
4. $\text{Dispersant} = \text{cement} \times \text{Konsentrasi Dispersant}$
5. $\text{Gas Block} = \text{cement} \times \text{Konsentrasi Gas Block}$
6. $\text{Retarder} = \text{cement} \times \text{Konsentrasi Retarder}$

Berikut adalah rumus-rumus untuk menghitung *Spacer*:

1. $\text{Spacer Behind} = \frac{\text{Spacer ahead}}{\text{Cap anulus}} \times \text{Cap tub}$
2. $\text{Volume Spacer} = \text{Spacer Ahead} + \text{Spacer Behind}$

Berikut adalah rumus-rumus untuk menghitung *displacement*:

$$\text{Total Displacement} = \text{Top of Spacer TG} \times \text{Kapasitas Tubing}$$

Berikut adalah rumus-rumus untuk menghitung *Injectivity Test Pressure*:

1. $\text{Fracture Pressure} = \text{Top of Perforation} \times \text{Fracture Gradient}$
2. $\text{Hp Injection Fluida} = \text{Bottom of Perforation} \times (\text{Densitas fluida} \times 0,052)$
3. $\text{Max Pres Injectivity Test} = \text{Fracture Pressure} - \text{Hp Injection Fluida} - \text{Safety Factor}$

Berikut adalah rumus-rumus untuk menghitung *Squeeze Pressure*:

1. $\text{Fracture Pres} = \text{Top of Perforation} \times \text{Fracture Gradient}$
2. $\text{Hp Cement} = \text{Height of Cement TG} \times (\text{Slurry weight} \times 0.052)$
3. $\text{Hp Spacer} = \text{Height of Spacer} \times (\text{Weight Spacer} \times 0,052)$
4. $\text{Hp Displacement} = \text{Top of Spacer Tigh Rate} \times (\text{Weigh Spacer} \times 0.052)$
5. $\text{Max Squeeze Pressure} = \text{Fracture Pressure} - \text{Hp Cement} - \text{Hp Space} - \text{Hp Displacement} - \text{Safety Factor}$

Setelah perhitungan di atas selesai, selanjutnya dilakukan estimasi biaya pada kondisi *tight rate injectivity* dan *high rate injectivity*.

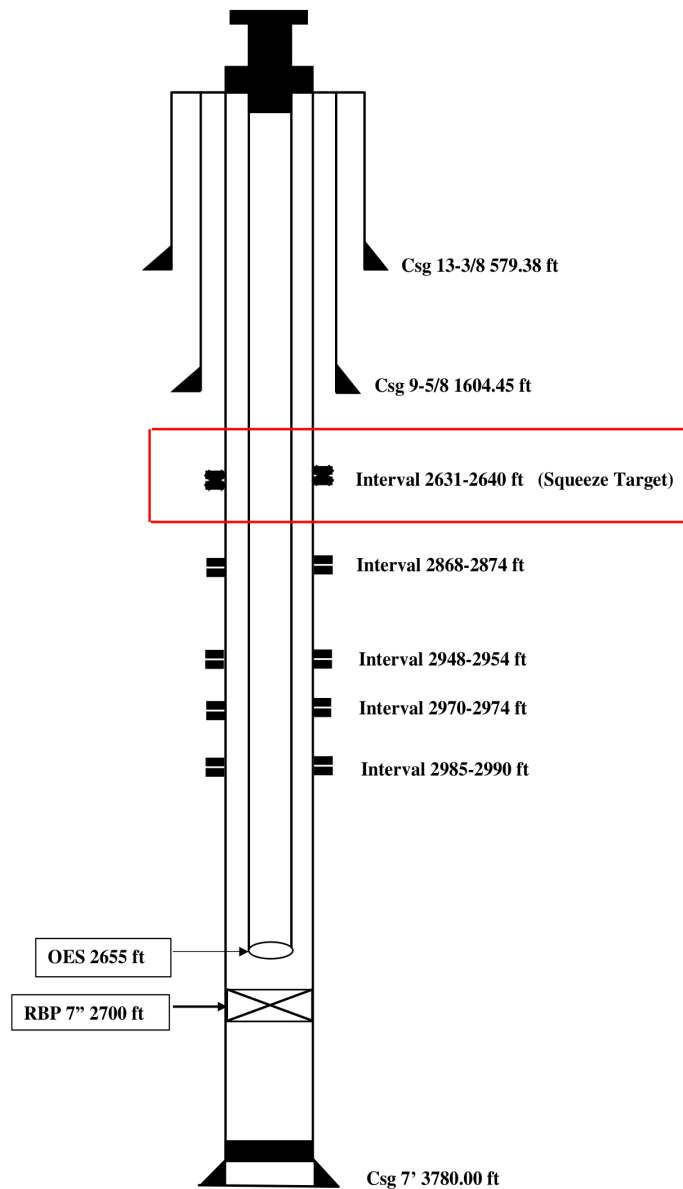
HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam perencanaan operasi squeeze cementing, pemahaman yang mendalam terhadap data sumur sangat penting untuk menentukan desain yang tepat, termasuk pemilihan volume semen,

tekanan injeksi, dan kebutuhan aditif. Salah satu sumur yang menjadi fokus evaluasi adalah Sumur MAW-11, yang memiliki karakteristik geologi dan struktur sumur spesifik. Data berikut ini memberikan rincian dimensi *casing* dan *tubing*, serta informasi kedalaman dan temperatur sumur yang akan menjadi dasar perhitungan kapasitas, tekanan, dan estimasi material yang dibutuhkan dalam operasi *squeeze cementing*.

Nama Sumur	: MAW-11
Kedalaman	: 3780 ft
Temperatur	: 137 °F
Conductor	: Casing 20" 00 ftkb ID 19.124" OD 20"
Surface	: Casing 13-3/8" @ 579.38 ftkb ID 12.615 OD 13.375
Intermediate	: Casing 9-5/8" @ 1604.45 ftkb ID 8921" OD 9.625
Production	: Casing 7" @ 3780 ftkb ID 6.336" OD 7"
Tubing	: Tubing 2-7/8" @2655 ftKb ID 2,15" OD 2,875"

Untuk memberikan gambaran visual mengenai konfigurasi sumur dan lokasi target *squeeze cementing*, berikut ditampilkan skematik sumur MAW-11 yang menunjukkan posisi *casing*, *tubing*, serta interval target *squeeze* pada kedalaman 2631–2640 ft:



Gambar 3. Well diagram "MAW-11"

Sebelum dilakukan estimasi biaya operasi *squeeze cementing*, diperlukan data teknis dan ekonomis sebagai dasar perhitungan. Berikut ini disajikan sejumlah tabel yang memuat informasi penting seperti data fluida sumur, jenis dan komposisi *cement additive*, data pendukung teknis, harga material dan *additive*, serta biaya satuan untuk pekerjaan *cementing*.

Tabel 1. Data fluida sumur

Data	Nilai	Satuan
<i>Yield Slurry</i>	1,210	cuft/sack

<i>Mix Fluid</i>	5,430	gps
<i>Mix Water</i>	2,780	gps
<i>Spacer Ahead</i>	10	gbl
Weight Spacer	8,33	ppg
Weight Slurry	15,8	lb/gal

Tabel 2. Data *cement additive*

Data	Konsentrasi	Satuan
<i>Defoamer</i>	0,030	gps
<i>Dispersant</i>	0,070	gps
<i>Fluid Loss</i>	1,200	gps
<i>Gas Block</i>	1,300	gps
<i>Retarder</i>	0,050	gps

Tabel 3. Data pendukung

Data	Nilai	Satuan
<i>Top Of Spacer Tight Rate in</i>	2232	ft
<i>Top Of Spacer High Rate in</i>	2187	ft
<i>Top Of Spacer Tight Rate Out</i>	2270	ft
<i>Top Of Spacer High Rate Out</i>	2229	ft
<i>Height Of Cement Tight Rate Out</i>	94	ft
<i>Height Of Cement High Rate Out</i>	135	ft
<i>Height Of Spacer</i>	290,45	ft

Tabel 4. Data harga material dan *additive*

Produk	Harga
<i>Cement class "G"</i>	Rp 220.000.00/sak
<i>Defoamer</i>	Rp 200.000.00/gals
<i>Dispersant</i>	Rp 125.000.00/gals
<i>Fluid Loss</i>	Rp 150.000.00/gals
<i>Gas Block</i>	Rp 150.000.00/gals
<i>Retarder</i>	Rp 120.000.00/gals

Tabel 5. Data harga *unit cementing*

Produk	Harga
<i>Cementing Servis</i>	Rp 156.100.000/unit

Hasil Laboratorium *Thickening Time*

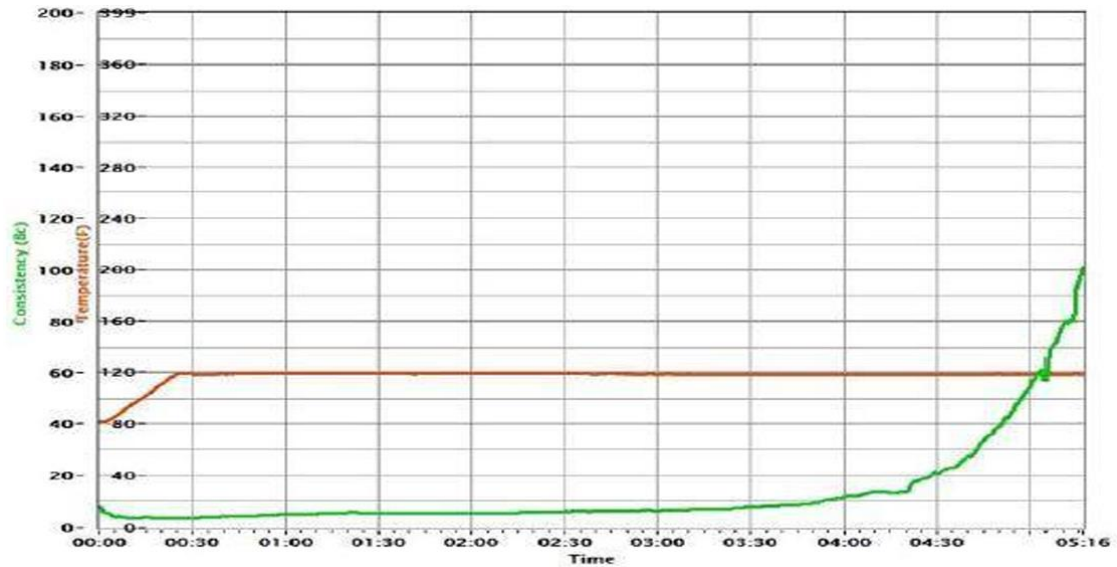
Berdasarkan hasil pengujian *Thickening Time* yang dilakukan pada suhu 116 °F, didapatkan hasil sebagai berikut:

Thickening Time @ 116 deg @100 BC: 5 Hours 8 Minutes @ 70 BC

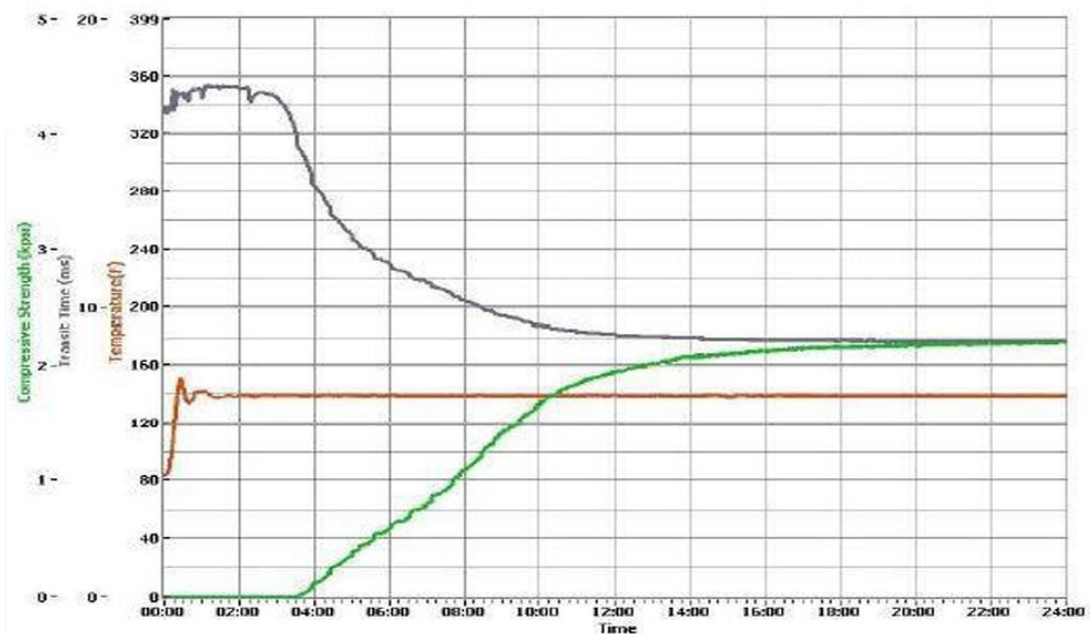
Fluid Loss @ 116 deg F : 18 cc/30 minutes/ 1000 psi

Free Water @ 116 deg F : 0 % by volume

Rheology (R1,B1,F=1), RPM	: 300	200	100	6	3	Pv	Yp
@ Ambient Temp	: 39	24	17	4	3	33.0	6.0
@ B.H.C.T	: 49	38	22	11	9	40.5	8.5



Gambar 1. Grafik *Thickening Time*



Gambar 2. Grafik *Compressive Strength*

Berdasarkan hasil uji laboratorium (Gambar 1 dan Gambar 2), diperoleh nilai *thickening time* pada suhu 116 °F selama 5 jam 8 menit, dan *compressive strength* pada suhu 137 °F sebesar 2430

psi setelah 24 jam. Hasil ini menunjukkan bahwa semen dan komposisinya telah memenuhi kriteria kelayakan untuk digunakan dalam pekerjaan penutupan zona perforasi pada interval 2631–2640 ft yang sudah tidak produktif.

Pada perhitungan *tight rate injectivity* dan *high rate injectivity* pada sumur MAW-11 di Lapangan Mata Allo, langkah pertama yang dilakukan adalah menghitung kapasitas fluida pada *casing* dan *tubing*. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa kapasitas casing 7" adalah sebesar 0,0393 bpf, kapasitas tubing 2-7/8" sebesar 0,0044 bpf, dan kapasitas *annulus* (*casing–tubing*) sebesar 0,0313 bpf.

Selanjutnya, dilakukan perhitungan volume semen slurry yang dibutuhkan pada kondisi *tight rate injectivity*, dimulai dengan *volume slurry* dalam casing 7" sebesar 2,91 bbl dan *volume slurry* untuk kebutuhan *squeeze* sebesar 0,80 bbl. *Total volume slurry* yang dibutuhkan adalah 3,71 bbl atau setara dengan 20,86 cuft. Dari total volume ini, jumlah sak semen yang digunakan adalah 17 sak, dengan kebutuhan *mix fluid* sebesar 92,33 gal atau 2,19 bbl. Material *zat additive* yang digunakan dalam kondisi ini meliputi *fresh water* sebanyak 47,26 gal, *defoamer* 0,51 gal, *fluid loss* 20,4 gal, *dispersant* 1,19 gal, *gas block* 22,1 gal, dan *retarder* sebanyak 0,85 gal. *Volume spacer* yang digunakan adalah 11,43 bbl, sementara *volume displacement* mencapai 10,03 bbl. Setelah itu dilakukan perhitungan tekanan maksimum, yaitu tekanan *injectivity* sebesar 624,4 psi dan tekanan *squeeze* sebesar 581,6 psi. Total estimasi biaya dalam kondisi *tight rate injectivity* adalah Rp10.522.550 untuk *material additive* dan Rp156.100.000 untuk *unit cementing*, sehingga total keseluruhan biaya mencapai Rp166.622.550.

Sementara itu, pada kondisi *high rate injectivity*, *volume slurry* dalam casing 7" tetap sebesar 2,91 bbl, namun *volume slurry* untuk *squeeze* meningkat menjadi 2,40 bbl. Dengan demikian, *total volume slurry* yang dibutuhkan adalah 5,32 bbl atau setara dengan 29,82 cuft. Jumlah sak semen yang digunakan dalam kondisi ini mencapai 25 sak, dengan kebutuhan *mix fluid* sebesar 135,75 gal atau 3,23 bbl. Material *zat additive* yang digunakan meliputi *fresh water* sebanyak 69,5 gal, *defoamer* 0,75 gal, *fluid loss* 30 gal, *dispersant* 1,75 gal, *gas block* 32,5 gal, dan *retarder* sebanyak 1,25 gal. *Volume spacer* tetap sebesar 11,43 bbl, dan *displacement* sebesar 9,82 bbl. Tekanan maksimum *injectivity* tetap sebesar 624,4 psi, sedangkan tekanan *squeeze* sedikit menurun menjadi 565,4 psi. Total estimasi biaya dalam kondisi *high rate injectivity* adalah Rp15.393.750 untuk *material additive* dan Rp156.100.000 untuk *unit cementing*, sehingga total keseluruhan biaya menjadi Rp171.493.750.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil uji laboratorium dan perhitungan teknis, semen dan komposisi zat tambahannya telah memenuhi kriteria kelayakan untuk digunakan dalam pekerjaan penutupan zona perforasi pada interval 2631–2640 ft sumur MAW-11, ditunjukkan oleh nilai *thickening time* selama 5 jam 8 menit pada suhu 116 °F dan *compressive strength* sebesar 2430 psi pada suhu 137 °F setelah 24 jam. Perhitungan kebutuhan semen slurry menunjukkan bahwa baik pada kondisi *tight rate injectivity* maupun *high rate injectivity*, volume dan tekanan injeksi yang diperlukan masih berada dalam batas yang aman dan layak secara operasional. Estimasi biaya total untuk pekerjaan ini masing-masing adalah Rp. 166.622.550 untuk kondisi *tight rate* dan Rp. 171.493.750 untuk kondisi *high rate*, yang menunjukkan bahwa pekerjaan penutupan zona perforasi dapat direncanakan dan dilaksanakan secara teknis dan ekonomis.

REFERENCES

- Abdullah, Rizky, and Eko Prastio. "Analisa Pekerjaan Squeeze Cementing dengan Metode Balance Plug Berdasarkan Data CBL & VDL pada Sumur "GZ" Lapangan "BHARA"." *Jurnal Offshore: Oil, Production Facilities and Renewable Energy* 6, no. 1 (2022): 21-28.
- Fitrianti, Fitrianti. "Analisis Kualitas Bonding Cement Di Zona Produktif Sumur BA 147 Menggunakan Ultra Sonic Imager Tool (USIT) Log di Lapangan BOB PT Bumi Siak Pusako-Pertamina Hulu." *Journal of Earth Energy Engineering* 4, no. 2 (2015): 29-43.
- Irfan, Agung Maulana, Abdul Hamid, and Rizki Akbar. "analisis squeez cementing pada liner 7" untuk penutupan zona perforasi pada sumur X di lapangan O." *Petro: Jurnal Ilmiah Teknik Perminyakan* 9, no. 1 (2020): 1-7.
- Khaja, Mohammad, Sushil Raturi, Abhijit Dutta, Hassan Haddad, Rajeev Singh, Basavaraj Kunchur, Khadar Hussain et al. "An Enhanced Microfine Cement Design for Special Squeeze Applications." In *SPE Trinidad and Tobago Section Energy Resources Conference*. OnePetro, 2021.
- Kurniawan, Deni, KRT Nur Suhascaryo, and Boni Swadesi. "Evaluation of Water Channeling Problems and Planning for Its Improvement Using the Remedial Cementing Method and Its Economics in Well AB-30 Field AB PT. Pertamina EP." *Journal of Petroleum and Geothermal Technology* 3, no. 1 (2022): 24-32.
- Lauma, Aprilia C., Maman Djumantara, and Pauhesti Pauhesti. "Analisis desain squeeze cementing pada sumur apr-04." *Jurnal Penelitian Dan Karya Ilmiah Lembaga Penelitian Universitas Trisakti* (2023): 215-220.
- Pradana, Haswarpin Yithzak. "Analisi Squeeze Cementing Berdasarkan Data Log Cbl Pada Sumur Ha-11." In *Prosiding Seminar Nasional Cendekiawan*. 2016.
- Shokry, Amir, Ahmed Abdulhamid Mahmoud, and Salaheldin Elkatatny. "Review of Remedial Cementing: Techniques, Innovations, and Practical Insights." In *SPE Gas & Oil Technology Showcase and Conference*, p. D021S021R002. SPE, 2024.

- Youssef, Amir Shokry, Ahmed Abdulhamid Mahmoud, and Salaheldin Elkatatny. "Review of Remedial Cementing: Factors, Design Considerations, and Case Studies." In *ARMA US Rock Mechanics/Geomechanics Symposium*, p. D022S020R018. ARMA, 2024.
- Zuldiyan, Teuku Revi, and MG Sri Wahyuni. "Squeeze Cementing dengan Menggunakan Metode Bradenhead Squeeze." *Petro: Jurnal Ilmiah Teknik Perminyakan* 7, no. 1 (2018): 32-36.