ANALISIS PENANGANAN SCALE $CaCO_3$ MENGGUNAKAN *STEAM, FLUSHING*, DAN *CHEMICAL* GUNA OPTIMASI PRODUKSI

Hafidatul Kalam Al-ikbari[1], Rizky Martareza Noor[1*]
[1]Teknik Produksi Migas, Politeknik Energi dan Mineral Akamigas, Cepu-Blora, 58315
[2]Pertamina EP Field Cepu, Jl. Gajah Mada PO.BOX 1, Cepu-Blora, 58312
**E-mail*: rizky.noor@pertamina.com

ABSTRAK

Scale merupakan salah satu permasalahan pada sistem produksi minyak yang dapat mempersempit area aliran dan meningkatkan hambatan aliran sehingga memengaruhi tekanan dan produksi sumur. Penelitian ini bertujuan menganalisis pembentukan *scale* $CaCO_3$ serta mengevaluasi penanganannya menggunakan *steam*, *flushing*, dan *chemical* pada Sumur FZR di Lapangan RBX. Analisis dilakukan berdasarkan data air formasi, *scale index*, *scale coupon*, kondisi *flowline*, serta data tekanan dan produksi sebelum dan setelah *treatment*. Hasil analisis menunjukkan nilai *Scale Index* sebesar 1,27 yang menunjukkan adanya kecenderungan pembentukan *scale* $CaCO_3$. *Treatment steam* dan *flushing* menurunkan tekanan dari 76,8 psig menjadi 49,8 psig serta meningkatkan produksi minyak dari 38,06006 BOPD menjadi 40,05457 BOPD atau sekitar 2 BOPD. Perhitungan alternatif menggunakan HCl 15% menunjukkan kebutuhan volume sebesar 112,86 gal untuk penanganan *scale* dengan *volume* 1,188 ft^3. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penanganan *scale* dapat mengurangi hambatan aliran dan mendukung peningkatan produksi pada Sumur FZR.

Kata kunci: *Flushing,* Kalsium karbonat, *Scale Index*, *Steam,* Produksi minyak

1. PENDAHULUAN

Scale merupakan salah satu permasalahan yang dapat mengganggu kegiatan produksi minyak dan gas karena endapan yang terbentuk pada sistem produksi dapat mengurangi luas penampang aliran dan meningkatkan hambatan aliran. Akumulasi *scale* pada *flowline* dalam jumlah tertentu dapat menyebabkan *plugging* sehingga memengaruhi tekanan sistem dan kinerja produksi. Pembentukan *scale* pada sistem produksi juga berkaitan dengan karakteristik air formasi serta perubahan tekanan dan *temperatur* selama proses produksi [1], [2].

Salah satu jenis *scale* yang perlu diperhatikan dalam sistem produksi adalah *calcium carbonate* ($CaCO_3$). Identifikasi jenis *scale* diperlukan untuk menentukan metode penanganan yang sesuai karena karakteristik endapan dapat memengaruhi efektivitas *treatment*. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa proses deposisi $CaCO_3$ pada sumur produksi dipengaruhi oleh kondisi aliran dan reaksi kimia [3]. Sedangkan, penelitian lain menunjukkan bahwa pemantauan lokasi pembentukan *scale* dapat digunakan untuk mengetahui potensi penyumbatan pada sistem produksi [4]. Hal tersebut menunjukkan bahwa identifikasi karakteristik dan kecenderungan pembentukan *scale* menjadi tahap penting sebelum menentukan metode penanganan.

Berbagai metode telah dikembangkan untuk menangani permasalahan *scale* pada sistem produksi. Penggunaan *steam* dapat memengaruhi kondisi fluida dan proses aliran pada sistem produksi, sedangkan *steam flooding* juga memiliki kaitan dengan pembentukan *scale* selama proses produksi [5]. Selain itu, metode pembersihan secara mekanis dan *chemical treatment* dapat digunakan untuk mengurangi endapan yang terbentuk pada jalur produksi [6], [7].

Efektivitas metode penanganan tersebut dipengaruhi oleh jenis *scale*, karakteristik endapan, serta kondisi operasi pada sistem produksi. *Chemical treatment* menggunakan asam menjadi salah satu alternatif untuk menangani *scale* berbasis karbonat. Larutan asam dapat membantu melarutkan endapan karbonat sehingga dapat digunakan dalam proses penanganan *scale* [8]. Penerapan *acidizing* pada sumur produksi juga telah digunakan sebagai salah satu pendekatan untuk meningkatkan kondisi produksi [9]. Pada penelitian ini, *Scale Index* digunakan untuk mengetahui kecenderungan air formasi dalam membentuk $CaCO_3$, sedangkan *scale tendency* digunakan untuk mengetahui kecenderungan pengendapan *scale* berdasarkan perubahan massa pada permukaan *coupon* [11], [12].

Selain mengetahui kecenderungan pembentukan *scale*, estimasi *volume* endapan pada *flowline* diperlukan untuk menentukan kebutuhan *treatment*. Perhitungan *volume scale* dapat digunakan untuk memperkirakan jumlah endapan yang terbentuk pada *flowline* [13]. Hasil estimasi tersebut selanjutnya dapat digunakan sebagai dasar untuk menentukan kebutuhan HCl dalam proses *chemical treatment* [14].

Berdasarkan penelitian sebelumnya, pembahasan mengenai pembentukan dan penanganan *scale* telah dilakukan melalui berbagai pendekatan. Namun, penelitian yang secara khusus membandingkan penanganan *scale* $CaCO_3$ menggunakan *steam* dan *flushing* dengan potensi *chemical treatment* menggunakan HCl pada *flowline* Sumur FZR di Lapangan RBX belum dibahas. Penelitian ini memiliki kebaruan berupa penggabungan analisis karakteristik air formasi, *Scale Index*, *scale tendency*, estimasi *volume scale*, perubahan tekanan *flowline*, respons produksi, serta kebutuhan HCl sebagai dasar evaluasi metode penanganan *scale* pada kondisi aktual sumur.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik dan kecenderungan pembentukan *scale* $CaCO_3$ pada Sumur FZR, mengevaluasi efektivitas *steam* dan *flushing* berdasarkan perubahan tekanan *flowline* serta respons produksi, dan menilai potensi penggunaan HCl sebagai alternatif *chemical treatment* berdasarkan estimasi volume *scale* dan kebutuhan HCl.

2. METODOLOGI

A. Data

Penelitian ini menggunakan data yang diperoleh dari data dan hasil analisis pada Sumur FZR, di lapangan RBX. Data yang digunakan meliputi data sifat kimia air formasi, hasil perhitungan *Scale Index*, data *scale coupon*, serta data hasil penerapan *steam, flushing* dan perhitungan *chemical treatment* menggunakan HCl. Data sifat kimia air formasi dan *Scale Index* digunakan untuk mengetahui kecenderungan pembentukan *scale* $CaCO_3$, sedangkan data *scale coupon* digunakan untuk mengetahui *scale tendency* pada *flowline*. Data hasil *steam* dan *flushing* digunakan untuk mengevaluasi perubahan tekanan dan produksi, sedangkan hasil perhitungan HCl digunakan sebagai dasar evaluasi *chemical treatment* dalam penanganan *scale*. Kecenderungan pembentukan scale $CaCO_3$ (kalsium karbonat) menggunakan metode *Stiff & Davis,* sedangkan untuk scale $CaSO_4$ (kalsium sulfat) menggunakan metode *Skillman, McDonald* dan *Stiff.* Parameter S dan X digunakan dalam perhitungan pembentukan *scale* $CaSO_4$ [1], [15].

Tabel 1. Data Penelitian

Parameter	Hasil
Jenis scale	$CaCO_3$
Scale Index	1,27
K $CaCO_3$	8,16

K $CaSO_4$	0,0009
X	0,002465
S	57,59 meq/L
Diameter *flowline*	3 inch
Panjang *flowline*	780 m / 237,73 ft
Luas *scale coupon*	0,0406 ft^2
Berat *scale coupon* sebelum pemasangan	31,5388 g
Berat *scale coupon* setelah pemasangan	31,5486 g
Scale tendency	0,5 $mg/ft^2/day$
Volume *flowline*	93,309 ft^3
Tekanan sebelum *steam* dan *flushing*	76,8 psig
Tekanan sesudah *steam* dan *flushing*	49,8 psig
Produksi *nett oil* sebelum steam	38,06006 BOPD
Produksi *nett oil* setelah steam	40,05457 BOPD
Gain production	2 BOPD
Volume scale	1,188 ft^3
Chemical treatment	HCl
Konsentrasi HCl	15%
Volume HCl yang dibutuhkan	112,86 galon

B. Flow Chart

Gambar 1 merupakan diagram alir penelitian yang menggambarkan tahapan pelaksanaan penelitian secara keseluruhan. Penelitian diawali dengan tahap pengumpulan data yang berkaitan dengan kondisi *scale* pada Sumur FZR. Data yang diperoleh selanjutnya digunakan untuk meng-identifikasi jenis dan kecenderungan pembentukan *scale*. Tahap berikutnya dilakukan perhi-tungan volume *scale* yang terbentuk pada *flowline*.

Selanjutnya dilakukan evaluasi *treatment steam* dan *flushing* berdasarkan perubahan tekanan dan produksi, serta perhitungan *chemical treatment* menggunakan HCl 15% berdasarkan volume *scale*. Hasil analisis tersebut kemudian digunakan untuk mengevaluasi efektivitas *treatment* dalam menangani permasalahan *scale*. Tahap akhir penelitian adalah penyusunan kesimpulan dan rekomendasi berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan.



Gambar 1. Diagram Alir

C. Pengujian *scale tendency*

Pengujian *scale tendency* dilakukan untuk mengetahui tingkat kecenderungan terbentuknya *scale* pada permukaan *coupon* berdasarkan perubahan berat selama pengujian. Perhitungan dilakukan dengan mempertimbangkan perubahan berat kupon, luas permukaan kupon, serta waktu pengujian. Nilai *scale tendency* dihitung menggunakan persamaan berikut [11]:

$$Scale\ tendency = \frac{\Delta Weight}{Coupon\ Area\ x\ Day} \quad (1)$$

Hasil perhitungan *scale tendency* menunjukkan jumlah *scale* yang terbentuk pada setiap satuan luas permukaan *coupon* dalam satu hari. Nilai yang semakin besar menunjukkan semakin tinggi kecenderungan terbentuknya *scale* pada kondisi pengujian.

D. Pengujian *Scale Index*

Selanjutnya, *Scale Index* (SI) digunakan untuk mengetahui kondisi air formasi terhadap potensi pembentukan *scale* kalsium karbonat ($CaCO_3$). Perhitungan SI melibatkan nilai pH, konstanta kesetimbangan, konsentrasi ion kalsium, dan alkalinitas. Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut [12]:

$$SI = pH - (K - pCa + pAlk) \quad (2)$$

Nilai SI positif menunjukkan kondisi air formasi yang cenderung membentuk *scale* $CaCO_3$, sedangkan nilai SI negatif menunjukkan kondisi yang tidak cenderung membentuk *scale*. Sementara itu, nilai SI sama dengan nol menunjukkan kondisi air formasi berada dalam keadaan setimbang terhadap $CaCO_3$.

E. Volume Scale

Perhitungan V_{scale} digunakan untuk mengetahui besarnya volume *scale* yang terbentuk di sepanjang *flowline* dengan mempertimbangkan luas penampang dan panjang *flowline*. Di hitung menggunakan persamaan berikut [13]:

$$V_{scale} = V_s \, X \, L \quad (3)$$

Nilai V_{scale} menggambarkan *volume scale* yang terdapat pada *flowline*. Semakin besar nilai yang diperoleh, semakin besar pula *volume scale* yang terbentuk.

F. *Volume* HCL

Perhitungan $VHCl$ dilakukan untuk menentukan volume HCl yang diperlukan dalam proses pelarutan *scale* pada *flowline*. Di hitung menggunakan persamaan berikut [14]:

$$V_{HCL} = 95 \, X \, V_{scale} \quad (4)$$

Nilai VHCl menunjukkan jumah HCl yang diperlukan untuk menangani scale. Kebutuhan HCl akan meningkat seiring dengan bertambahnya *volume scale.*

3. PEMBAHASAN

Sumur FZR memiliki permasalahan berupa penyumbatan *scale* pada *flowline*. Penyumbatan berupa *scale* terjadi akibat penurunan tekanan, *temperatur* dan karakteristik air formasi, sehingga kemungkinan terjadinya *scaling* pada *flowline* akan lebih besar. Hal ini didukung oleh karakteristik air formasi yang memiliki nilai scale index sebesar 1,27 positif dan S > Ca^{2+} atau SO_4^{2-}, sehingga endapan *scale* akan terbentuk.

Berdasarkan hasil analisis air formasi, jenis *scale* yang berpotensi terbentuk adalah *calcium carbonate*. Hasil analisis air formasi menunjukkan bahwa ion Ca^{2+} memiliki konsentrasi sebesar 100,25 mg/L, sedangkan HCO_3^-- dan CO_3^{2-}- masing-masing sebesar 3905,28 mg/L dan 240,04 mg/L. Keberadaan ion tersebut menjadi salah satu faktor yang mendukung pembentukan $CaCO_3$

Analisis terhadap $CaSO_4$ menunjukkan bahwa nilai S sebesar 57,59 meq/L lebih besar dibandingkan dengan konsentrasi ion Ca^{2+} dan SO_4^+ yang tersedia. Berdasarkan hasil tersebut, $CaSO_4$ tidak cenderung terbentuk pada kondisi air formasi. Dengan demikian, *scale* yang menjadi fokus dalam penelitian ini adalah $CaCO_3$

Karakteristik tersebut menjadi dasar dalam pemilihan metode penanganan. Karena *scale* yang terbentuk adalah $CaCO_3$, penanganan perlu diarahkan pada metode yang dapat mengurangi atau menghilangkan endapan tersebut dari *flowline*. Dalam penelitian ini, metode yang dianalisis adalah *steam treatment* dan *chemical treatment* menggunakan HCL.

A. Karakteristik dan Kecenderungan Pembentukan *Scale*

Pembentukan *scale* pada *flowline* dapat memengaruhi kondisi aliran fluida karena endapan yang terbentuk akan mengurangi ruang yang tersedia untuk aliran. Semakin besar akumulasi endapan, semakin besar pula hambatan yang dapat terjadi pada jalur produksi. Pada Sumur FZR, identifikasi *scale* dilakukan dengan melihat karakteristik air formasi serta kecenderungan pembentukan mineral. Hasil analisis menunjukkan adanya kandungan ion yang mendukung pembentukan *scale* karbonat, terutama *calcium carbonate*. pH air formasi 8 dan temperatur 24°C. Tabel 2 berikut hasil analisa sifat kimia air formasi

Tabel 2. Data Penelitian Sifat Kimia Air Formasi

Kation	(mg/lt)	Anion	Anion	(mg/lt)	(meq/l)
Na+	6928,78	301,38	Cl-	8520,00	240,32
Ca++	100,25	5,00	HCO3-	3905,28	64,00
Mg++	36,45	3,00	SO4=	4,00	0,08
Fe+++	0,30	0,016	CO3=	240,04	5,00
			OH=	0,00	0,00

Identifikasi jenis *scale* dilakukan dengan melihat komposisi ion dalam air formasi serta nilai *Scale Index*. Data air formasi menunjukkan kandungan Na^+ sebesar 6928,78 mg/L, Ca^{2+} sebesar 100,25 mg/L, Mg^{2+} sebesar 36,45 mg/L, Cl^- sebesar 8520 mg/L, HCO_3^- sebesar 3905,28 mg/L, SO_4^{2-} sebesar 4 mg/L, dan CO_3^{2-} sebesar 240,04 mg/L. Nilai *ionic strength* yang diperoleh adalah 0,31974307. Pembentukan *calcium carbonate* dapat terjadi melalui reaksi antara kalsium dan karbonat:

$$Ca^{2+} + CO^{2-} \longrightarrow CaCO$$

$CaCO_3$ juga dapat terbentuk dari reaksi ion kalsium dengan bikarbonat:

$$Ca^{2+} + 2(HCO3)^{-} \longrightarrow CaCO3 + CO2 + H2O$$

Berikut hasil perhitungan *ionic strength* total (μ). Hasil dari μ dan temperatur digunakan untuk mencari nilai K menggunakan Tabel 3. Berdasarkan Tabel 3, perhitungan *ionic strength* total menghasilkan nilai sebesar 0,31974307. Kontribusi terbesar berasal dari ion Na^+ dengan nilai 0,15243306, kemudian ion Cl^- sebesar 0,11928000 dan HCO_3^- sebesar 0,03202330. Adapun ion Ca^{2+}, Mg^{2+}, SO_4^{2-}, dan CO_3^{2-} memberikan kontribusi yang relatif lebih kecil. Nilai kekuatan ionik total bersama temperatur air formasi digunakan untuk menentukan nilai K yang selanjutnya mendukung analisis potensi pembentukan scale pada sumur.

Tabel 3. *Ionic Strength* Total

Ion	Konsentrasi (mg/ltr)	μ
Na+	6928,78	0,15243306
Ca++	100,25	0,00501250
Mg++	36,45	0,00298890
Cl-	8520,00	0,11928000

HCO3-	3905,28	0,03202330
SO4=	4,00	0,00008400
CO3=	240,04	0,00792132
Total Ionic Strength		0,31974307

Tabel 4. ***Ionic Strength* Total**

Keterangan	Nilai
pCa	2,60
pAlk	1,17

Berdasarkan metode *Stiff and Davis*, nilai *Scale Index* yang diperoleh sebesar 1,27. Nilai tersebut menunjukkan bahwa air formasi berada pada kondisi yang memiliki kecenderungan membentuk *scale* $CaCO_3$. Nilai *scale index* dapat dihitung menggunakan Pers. (2). Berdasarkan Tabel 5, konsentrasi ion Ca^{2+} sebesar 0,00250625 mol/L, sedangkan konsentrasi SO_4^{2-} sebesar 0,0000416 mol/L. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kandungan ion Ca^{2+} dalam sampel lebih tinggi dibandingkan dengan ion SO_4^{2-}. *Scale* kalsium sulfat terbentuk dari reaksi ion kalsium dan *sulfat* :

$$Ca^{2+} + SO^{2-} \longrightarrow CaSO$$

Berdasarkan Tabel 5, konsentrasi ion Ca^{2+} tercatat sebesar 5,0125 meq/L, sementara SO_4^{2-} sebesar 0,08333 meq/L. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa ion Ca^{2+} memiliki konsentrasi *ekuivalen* yang lebih besar dibandingkan dengan SO_4^{2-} dalam sampel air formasi. Ternyata S > Ca^{2+} dan SO_4^{2-} maka $CaSO_4$ cenderung tidak terbentuk. Nilai S dihitung menggunakan metode *Skillman, McDonald & Stiff* . Hasil analisis terhadap $CaSO_4$ menunjukkan kecenderungan pembentukan yang tidak signifikan, dan menunjukkan adanya kandungan ion yang mendukung pembentukan *scale* karbonat, terutama *calcium carbonate*. Komposisi air formasi Sumur FZR menunjukkan kandungan Na^+ sebesar 6928,78 mg/L, Ca^{2+} sebesar 100,25 mg/L, Mg^{2+} sebesar 36,45 mg/L, Cl^- sebesar 8520 mg/L, HCO_3^- sebesar 3905,28 mg/L, SO_4^{2-} sebesar 4 mg/L, dan CO_3^{2-} sebesar 240,04 mg/L. Nilai *ionic strength* yang diperoleh adalah 0,31974307. Kehadiran ion Ca^{2+} dan CO_3^{2-} dapat mendukung pembentukan *calcium carbonate* melalui reaksi:

$$Ca^{2+} + CO_3^{2-} \rightarrow CaCO_3$$

Hasil analisis terhadap $CaSO_4$ menunjukkan bahwa *mineral* tersebut tidak memiliki kecenderungan pembentukan yang signifikan. Dengan demikian, $CaCO_3$ menjadi jenis *scale* yang menjadi fokus dalam analisis penanganan pada Sumur FZR.

Tabel 5. Ion Ca2+ dan SO_4^{2-}

Ion	Konsentrasi (mg/l)	Berat Ekuivalen	Faktor Koreksi	Konsentrasi (moles/liter)	Konsentrasi (meq/liter)
Ca^{2+}	100,25	20	$2,5 \times 10^5$	0,00250625	5,0125
SO_4^{2-}	4,00	48	$01,04 \times 10^5$	0,0000416	0,083333333

B. Data Keterangan Sumur FZR (Bpd)

Keterangan data sumur FZR berisikan mengenai potensi produksi sumur di lapangan yang berisikan Potensi *Gross*, Potensi *Nett Oil*, waktu tes, produksi *Gross*, dan produksi *Nett* dalam satuan Bpd. Tabel 6. menunjukkan bahwa sumur FZR memiliki potensi *gross* sebesar 651,4585 dan potensi *nett oil* sebesar 35,83022. Sementara itu, nilai produksi *gross* mencapai 64112,86358 dan produksi *nett oil* sebesar 40,43882. Data tersebut digunakan untuk memberikan gambaran mengenai kondisi potensi dan produksi pada sumur FZR. Pengujian terakhir tercatat pada 9 Maret 2023.

Tabel 6. Data Keterangan Sumur FZR

Parameter	Nilai
Potensi Gross	651,4585
Potensi Nett Oil	35,83022
Produksi Gross	64112,86358
Produksi Nett Oil	40,43882
Test terakhir	9-Mar-23

C. Penanganan Masalah dengan Injeksi *Steam* dan *Flushing*

Steam dan *flushing* merupakan metode yang digunakan untuk menangani permasalahan pada *flowline* sumur FZR. Dalam penerapannya, steam digunakan untuk memberikan pemanasan yang membantu melonggarkan atau melepaskan endapan pada *flowline*, sedangkan *flushing* berfungsi untuk mendorong material yang telah terlepas keluar dari jalur aliran. Hal tersebut sejalan dengan kegiatan yang telah dioperasikan di lapangan RBX. Tabel 7 berikut data injeksi *steam* dan *flushing.*

Tabel 7. Injeksi *Steam* dan *Flushing*

Flushing dan Steam FZR	Pressure (ksc)	Volume (L)	Suhu (oC)	Pressure Flushing dan Steam (Psi)
Sebelum	20	4000	100	150
Sesudah	3			

Berdasarkan Tabel 7, proses *flushing* dan *steam* pada FZR dilakukan dengan *volume* sebesar 4.000 L, suhu 100°C, dan tekanan operasi 150 psi. Tekanan sebelum proses tercatat sebesar 20 ksc, sedangkan setelah proses mengalami penurunan menjadi 3 ksc. Penurunan tekanan tersebut menunjukkan adanya perubahan kondisi aliran setelah *flushing* dan *steam*, yang dapat meng-indikasikan berkurangnya hambatan di dalam sistem.

Berdasarkan Tabel 8. Tekanan kepala tubing (THP) mengalami penurunan dari 76,8 psig menjadi 49,8 psig setelah dilakukan *steam* dan *flushing*. Pada periode yang sama, produksi *nett oil* meningkat dari 38,06006 BOPD menjadi 40,05457 BOPD, dengan kenaikan sekitar 2 BOPD. Hasil pengamatan ini memperlihatkan adanya perubahan kondisi aliran setelah *treatment* dilakukan. Kombinasi *steam* dan *flushing* berpotensi mengurangi hambatan aliran pada *flowline* sehingga dapat mendukung peningkatan produksi minyak.

Tabel 8. Setelah *Steam* dan *Flushing*

Sumur FZR				
Tanggal	**Gross (Bbls)**	**Nett (Bbls)**	**THP (Psig)**	**Keterangan**
30-Jun-22	761,2013	38,06006	76,8	Sebelum *Steam and Flushing*
1-Jul-22	763,58	40,05457	49,8	Setelah dilakukan *Steam and Flushing*
2-Jul-22	768,3375	39,63543	49,8	
3-Jul-22	770,7289	40,06879	49,8	
4-Jul-22	770,7289	40,85478	49,8	
5-Jul-22	770,7289	38,05457	49,8	
6-Jul-22	770,7289	39,78974	49,8	
7-Jul-22	773,0951	40,68943	49,8	
8-Jul-22	773,0951	40,67489	49,8	

D. Pemasangan *Scale Coupon*

Scale coupon digunakan sebagai metode monitoring untuk mengetahui laju pengendapan scale berdasarkan perubahan massa yang terjadi selama periode pemasangan. Sebelum *scale coupon* dipasang, terlebih dahulu ditimbang untuk mengetahui berat awalnya. Dalam waktu yang sudah ditentukan, *scale coupon* dicabut kembali dan ditimbang. Peningkatan berat *coupon* setelah periode pemasangan menunjukkan adanya material yang mengendap dan menempel pada permukaan *coupon*.

Pada Tabel 9, *scale coupon* dipasang pada 25 Maret 2022 dengan berat awal 31,538 mg dan dilepas pada 5 Januari 2023 dengan berat 31,548 mg. *Coupon* memiliki luas permukaan sebesar 0,0406 ft^2. Selisih massa sebesar 0,0098 g menunjukkan terjadinya penambahan material pada permukaan coupon selama periode pemasangan yang mengindikasikan adanya proses pengendapan scale. Berdasarkan perubahan massa, luas permukaan *coupon*, dan waktu pemasangan, diperoleh nilai *scale tendency* sebesar 0,5 mg/ft^2/day. Penambahan berat pada *scale coupon* dapat dihitung dengan Pers. (1)

Tabel 9. Analisa *Scale Coupon*

Scale coupon	***Installation***	***Removal***	***Coupon area***
Date	25 March 2022	5 January 2023	0,0406 ft^2
Weight	31,538 mg	31,548 mg	

E. Pemecahan Masalah dengan *Asam Chlorida* (HCL)

Selain metode *steam* dan *flushing*, HCl dapat digunakan sebagai alternatif untuk menangani endapan *scale* $CaCO_3$ pada *flowline*. HCl berfungsi melarutkan endapan $CaCO_3$ sehingga hambatan aliran akibat scale dapat dikurangi. Berdasarkan estimasi *volume* scale, diperoleh *volume scale* sebesar 1,188 ft^3 dari *volume scale* per satuan panjang *flowline* sebesar 0,005 ft^3 dan panjang *flowline* 237 ft. Penentuan volume scale dapat menggunakan Pers. (3). Selanjutnya, kebutuhan HCl ditentukan berdasarkan literatur yang menyatakan bahwa penanganan *scale* $CaCO_3$ menggunakan 95 gal larutan HCl 15% untuk setiap 1 ft^3 *scale*. Karena *scale* yang dianalisis pada sumur merupakan $CaCO_3$, nilai tersebut digunakan sebagai acuan dalam menentukan kebutuhan HCl. Untuk menentukan kebutuhan HCl menggunakan Pers. (4).

Berdasarkan estimasi tersebut, kebutuhan larutan HCl 15% diperoleh sebesar 112,86 galon untuk *volume scale* sebesar 1,188 ft³ sebagai estimasi kebutuhan larutan HCl. Penggunaan HCl sebagai alternatif penanganan *scale* perlu disesuaikan dengan jenis dan jumlah *scale* serta kondisi *flowline.*

4. SIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis, *scale* pada Sumur FZR di Lapangan RBX merupakan *scale* $CaCO_3$ dengan nilai *Scale Index* sebesar 1,27 yang menunjukkan kecenderungan pembentukan *scale*. *Treatment steam* dan *flushing* mampu menurunkan tekanan dari 76,8 psig menjadi 49,8 psig serta meningkatkan produksi dari 38,06006 BOPD menjadi 40,05457 BOPD atau sekitar 2 BOPD. Sementara itu, perhitungan penggunaan HCl 15% menunjukkan kebutuhan sebesar 112,86 gal untuk penanganan *scale* dengan *volume* 1,188 ft³.

Saran yang dapat diberikan yaitu *chemical treatment* menggunakan HCl 15% dapat di pertimbangkan sebagai alternatif penanganan *scale* $CaCO_3$. Pemantauan kondisi *flowline* dan perkembangan *scale* dilakukan secara berkala agar penyumbatan dapat segera ditangani. Pemilihan metode *treatment* perlu disesuaikan dengan jenis dan jumlah *scale* serta kondisi sumur. Penelitian selanjutnya dapat menggunakan data tekanan dan produksi dalam periode yang lebih panjang untuk mengevaluasi efektivitas treatment serta membandingkan penggunaan *steam*, *flushing*, dan *chemical*.

5. DAFTAR PUSTAKA

[1] D. Alighiri, C. Fatmala, I. Syafi'i, and E. B. Haditya, "Studi pembentukan scale $CaCO_3$ dan $CaSO_4$ pada air formasi sumur minyak di Cepu, Indonesia," *Jurnal Fisika*, vol. 8, no. 1, pp. 28–36, 2018, doi: 10.15294/jf.v8i1.14496.

[2] N. Lai, Y. Wen, Y. Wang, X. Zhao, J. Chen, D. Wang, X. Wang, T. Yu, and C. Jia, "Calcium carbonate scaling kinetics in oilfield gathering pipelines by using a 1D axial dispersion model," *Journal of Petroleum Science and Engineering*, vol. 188, p. 106925, 2020, doi: 10.1016/j.petrol.2020.106925.

[3] Q. D. Nguyen and L. C. Mai, "Numerical modeling of $CaCO_3$ mineral scale deposition in oil and gas production well taking into account the effect of fluid dynamics and chemical reaction kinetics," *VNUHCM Journal of Engineering and Technology*, vol. 4, no. SI3, pp. SI146–SI159, 2021, doi: 10.32508/stdjet.v4iSI3.850.

[4] W. Kang, T. Wang, H. Zhang, X. Hou, X. Zhang, T. Zhu, C. Chen, and H. Yang, "A dynamic scale location monitor method to predict oilfield blockage during water flooding," *Journal of Petroleum Science and Engineering*, vol. 191, p. 107168, 2020, doi: 10.1016/j.petrol.2020.107168.

[5] A. Rahman, S. Ahmed, M. E. Hossain, and F. A. Happy, "Development of scaling criteria for steam flooding EOR process," *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*, vol. 10, pp. 3849–3863, 2020, doi: 10.1007/s13202-020-00909-1.

[6] Y. K. Yar'Adua, I. J. John, A. J. Abbas, K. A. Lawal, and A. Kabir, "An experimental study on high-pressure water jets for paraffin scale removal in partially blocked production tubings," *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*, vol. 11, pp. 973–988, 2021, doi: 10.1007/s13202-020-01009-w.

[7] S. Kumar, T. K. Naiya, and T. Kumar, "Developments in oilfield scale handling towards green technology—A review," *Journal of Petroleum Science and Engineering*, vol. 169, pp. 428–444, 2018, doi: 10.1016/j.petrol.2018.05.068.

[8] H. Gamal, S. Elkatatny, S. Al-Afnan, and M. Bahgat, "Development of a unique organic acid solution for removing composite field scales," *ACS Omega*, vol. 6, no. 2, pp. 1205–1215, 2021, doi: 10.1021/acsomega.0c04335.

[9] M. Al-Mahasneh, S. Al Rabadi, and H. Khaswaneh, "Assessment of oil-producing wells by means of

stimulation approach through matrix acidizing: A case study in the Azraq region," *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*, vol. 11, pp. 3479–3491, 2021, doi: 10.1007/s13202-021-01256-5.

[10] S. Qazvini, A. Golkari, A. Azdarpour, R. M. Santos, M. S. Safavi, and M. Norouzpour, "Experimental and modelling approach to investigate the mechanisms of formation damage due to calcium carbonate precipitation in carbonate reservoirs," *Journal of Petroleum Science and Engineering*, vol. 205, p. 108801, 2021, doi: 10.1016/j.petrol.2021.108801.

[11] U.S. Patent Application, *Return carbon dioxide to flashed geothermal brine to control scale deposition in a geothermal power plant*, 2011.

[12] Universitas Islam Riau, *Analisis Penyebab Terbentuknya Scale pada Pipa*, 2022

[13] Oregon Department of Transportation, *Hydraulics Manual*, 2014.

[14] A. W. Setiaprihadi, Supriyadi, and D. S. Dewayanti, "Studi Penyebab Scale di Lapangan-lapangan Minyak Sumatra," Lembaran Publikasi Lemigas, vol. 44, no. 3, pp. 227–245, 2010, doi: 10.29017/LPMGB.44.3.166.

[15] Arjuna, A., Hardi, M., Kuswardani, T., & Wardani, O. K. "Evaluation of Chemical Acidizing Performance Using 15% Hydrochloric Acid (HCl) on Eight Production Wells in Field X". Scientific Contributions Oil and Gas, 49(1), 427–440. 2026. DOI: 10.29017/scog.v49i1.2050.

Daftar Simbol

ΔW	=	Perubahan berat *scale coupon*, g
ST	=	*Scale Tendency*, mg/ft²/day
SI	=	*Scale Index*
pCa	=	Negatif logaritma konsentrasi ion Ca^{2+}
pAlk	=	Parameter alkalinitas air formasi
Vscale	=	*Volume Scale,* ft³
Vts	=	*Volume scale tendency,* cuft/ft
L	=	Panjang *flowline,* ft
Vhcl	=	*Volume* HCl yang dibutuhkan, gal