

ANALISA PREDIKSI SCALE CaCO_3 DAN CaSO_4 MENGGUNAKAN METODE STIFF AND DAVIS DAN SKILLMAN PADA LAPANGAN MJA

Marcellinus Joan Arvel Aditama¹, Gerry Sasanti Nirmala^{1*}, Diyah Rosiani¹

¹Teknik Produksi Migas, Politeknik Energi dan Mineral Akamigas, Jl. Gajah Mada No.38 Cepu Kab. Blora, Kota, Kode Pos 58315

*E-mail: gerry.nirmala@esdm.go.id

ABSTRAK

Penurunan laju produksi adalah salah satu tantangan terbesar di lapangan minyak dan gas yang biasanya disebabkan oleh aktivitas produksi. Salah satu masalah yang umum dijumpai adalah terbentuknya *scale* yang bisa menyebabkan penghambatan pada aliran fluida pada zona perforasi, flowline, hingga SPU yang dipengaruhi oleh senyawa ion kimia tertentu di air formasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pembentukan *scale* Kalsium Karbonat (CaCO_3) dan Kalsium Sulfat (CaSO_4). Komposisi ion air formasi dianalisis menggunakan metode *Stiff and Davis* serta *Skillman* guna menghitung *Saturation Index* (SI) yang nantinya digunakan untuk mengidentifikasi tingkat kejenuhan air terhadap mineral *scale*. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa air formasi memiliki kandungan ion Ca^{2+} dan HCO_3^- dengan total *ionic strength* sebesar 1.3 pada suhu 77 °F dan 1.56 pada 135 °F. Serta kandungan ion CaSO_4 menunjukkan nilai solubility yang lebih besar dari pada konsentrasi Ca^{2+} dan SO_4^{2-} sebesar 41.71, sehingga potensi terbentuknya CaSO_4 relatif lebih rendah. Dari hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa jenis *scale* yang dominan untuk terbentuk pada SPU lapangan MJA, sumur QWE adalah Kalsium Karbonat (CaCO_3) yang terbentuk dan mengendap akibat ketidakseimbangan kimia air formasi dan tekanan serta temperature selama produksi.

Kata kunci: Stiff and Davis, Skillman, Scale Index, Kalsium Karbonat, Kalsium Sulfat

1. PENDAHULUAN

Penurunan laju produksi dapat disebabkan oleh penurunan tekanan reservoir, *formation damage* dan *scale*. *Scale* merupakan endapan yang terbentuk dari proses pengendapan mineral dan kristalisasi yang terdapat pada air formasi [1]. *Scale* bisa menghambat aliran fluida pada *perforation zone*, *surface equipment*, *subsurface equipment* dan *flowline* [2]. *Scale* dapat berupa Kalsium Karbonat, Kalsium Sulfat, Barium Sulfat, Magnesium Karbonat, dan lain lain.

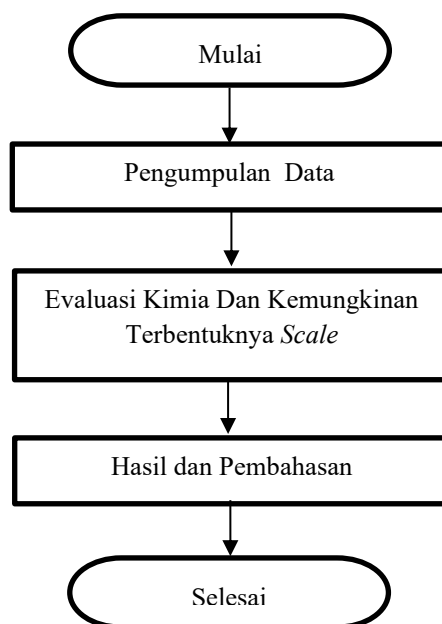
Pemantauan terhadap potensi terbentuknya *scale* perlu dilakukan secara rutin. Hal ini penting karena saat kadar air dalam *crude oil* sangat rendah dan hanya sedikit yang terdispersi, peluang terbentuknya *scale* akan sebanding dengan jumlah produksi *free water* [3]. Dalam beberapa kasus, *scale* tidak hanya menumpuk di aliran pipa atau tubing, tetapi juga bisa muncul di area perforasi dan bahkan di sekitar formasi batuan dekat sumur bor [4].

Untuk mencegah terjadinya penurunan laju produksi akibat *scale*, diperlukan pendekatan yang tepat, salah satunya dengan menghitung tingkat kelarutan (solubilitas) jenis *scale* yang mungkin terbentuk. Dalam penelitian ini, metode solubilitas digunakan untuk memprediksi potensi pembentukan *scale* di sumur QWE. Meski metode ini menyederhanakan sejumlah perhitungan kimia terkait kelarutan ion-ion dalam air, pendekatan ini tetap dianggap efektif sebagai acuan untuk memahami dan mengantisipasi terbentuknya *scale* [5].

Tujuan penelitian ini adalah mengevaluasi problema *scale* dan menentukan faktor-faktor pengaruh terjadinya *scale*. Metode yang digunakan yaitu *Stiff and Davis* dan *Skillman* guna

menentukan terbentuknya *scale*. Data yang digunakan adalah data aktual lapangan MJA di sumur QWE.

2. METODE



Gambar 1. Diagram Alir

A. Data Lapangan MJA, Sumur QWE

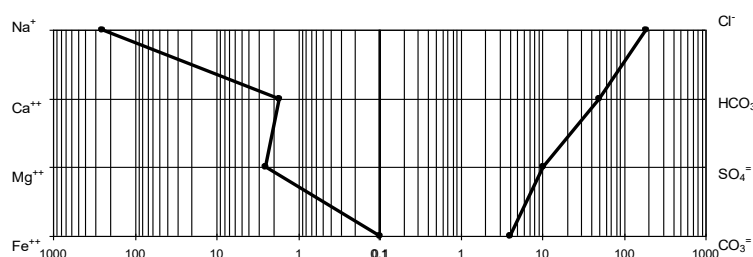
Alur penelitian ini diberikan pada Gambar 1. Penelitian ini diawali dengan pengumpulan data Hasil Analisa Kimia sampel air produksi dari lapangan MJA, sumur QWE dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Analisa Kimia Sampel Air Produksi MJA – QWE

Parameter	Satuan	Hasil Pengujian
<i>Cation :</i>		
Sodium [Na]	mg/L	53695.10
Calcium [Ca]	mg/L	33.70
Magnesium [Mg]	mg/L	29.98
Barium [Ba]	mg/L	0.02
Iron [Fe]	mg/L	0.00
Strontonium [Sr]	mg/L	1.90
<i>Anion :</i>		
Chloride [Cl]	mg/L	6647.30
Sulfate [SO ₄]	mg/L	498.00
Carbonate [CO ₃]	mg/L	120.00
Bicarbonate [HCO ₃]	mg/L	3050.00
<i>Others :</i>		
Specific Gravity, 60/60 °F	-	1.008
pH @ 77 °F	-	8.56
Salinity	‰	9.20
Viscosity	cP	12.60
Conductivity	ms/cm	16.01
TDS [Total Dissolved Solids]	mg/l	9010.00

TSS [Total Suspended Solid]	mg/l	12.00
Turbidity	FTU	21.00
Resistivity [ohm-meter]	Ω meter	3.02
DO [Desolved Oksigen]	mg/l	1.13
Oil Content	mg/l	60.72
Hydroxide	mg/l	Nil
Free Clorine	mg/l	0.30
Sulfit	mg/l	415.07
CO ₂	mg/l	32.56
H ₂ S	mg/l	Nil

Data pada Tabel 1 digunakan untuk analisa langkah selanjutnya yaitu evaluasi kimia dan kemungkinan terbentuknya *scale* dengan metode *Stiff and Davis* dan *Skillman*.serta menyajikan data mengenai air formasi yang diperoleh dari hasil pengujian laboratorium terhadap sampel air di sumur berupa data cation,anion, salinity, pH, dan specific gravity pada sumur QWE.



Gambar 2. Diagram Stiff Water Paterns –me/l [1].

Diagram stiff bertujuan untuk menganalisis kompatibilitas dalam memprediksi resiko terjadinya *scale* dapat dilihat pada Gambar 2. Compatibility mengacu pada potensi dua atau lebih jenis air. Ca²⁺ menjadi indikasi bahwa tingginya konsentrasi ion pembentuk CaCO₃ dan CaSO₄

B. Metode *Stiff and Davis*

Metode ini dikembangkan oleh H.A. Stiff and L.E.E Davis pada 1952 dalam menilai kejenuhan air terhadap kalsium karbonat. Dalam industri migas, perhitungan ini digunakan untuk memprediksi potensi terbentuknya *scale*:

$$SI = pH - pH_s \quad (1)$$

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

$$pCa = \log \frac{1}{\text{Moles } Ca^{++} / \text{liter}} \quad (3)$$

$$pAlk = \log \frac{1}{\text{Equivalents total kalinity} / \text{liter}} \quad (4)$$

Scale index menunjukkan apakah air cenderung membentuk atau melarutkan Kalsium Karbonat (CaCO₃). Nilai SI dapat diartikan sebagai berikut:

SI > 0 → air cenderung jenuh dan membentuk *scale* CaCO₃

SI = 0 → air dalam keadaan seimbang dan jenuh dan *scale* CaCO₃ tidak terbentuk

SI < 0 → air cenderung jenuh dan *scale* CaCO₃ tidak terbentuk[6]

C. Metode Skillman

Dikembangkan Skillman, Mc Donald, dan Stiff dengan tujuan yang sama seperti Stiff and Davis yaitu menjadi *Stability Index* (SI). Perhitungan termodinamika yang kompleks bisa dihindari dengan menggunakan metode ini:

$$X = [Ca^{2+}] - [SO_4^{2-}] \quad (5)$$

$$S = 1000(\sqrt{(X + 4K) - X}) \quad (6)$$

Nilai S digunakan untuk melihat kecenderungan air terhadap Kalsium Sulfat ($CaSO_4$). Nilai S dapat diartikan sebagai berikut:

$S > S' \rightarrow$ air tidak jenuh dengan $CaSO_4$, *scale* $CaSO_4$ tidak terbentuk.

$S = S' \rightarrow$ air dalam keadaan seimbang, cenderung tidak membentuk *scale*.

$S < S' \rightarrow$ air cenderung membentuk *scale* $CaSO_4$ [6]

3. PEMBAHASAN

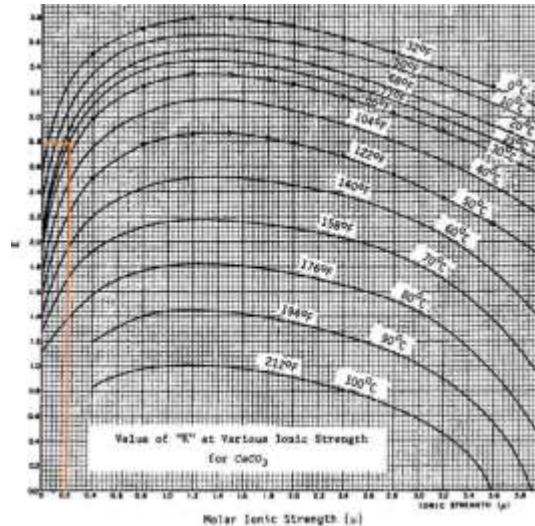
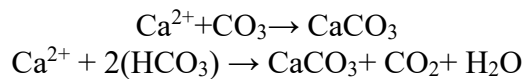
Setelah diperoleh nilai konstanta kelarutan (K), langkah selanjutnya adalah menghitung nilai pCa dan pAlk. Nilai pCa diperoleh dari konsentrasi ion kalsium (Ca^{2+}), sedangkan pAlk dihitung dari jumlah ion karbonat (CO_3^{2-}) dan bikarbonat (HCO_3^-) yang ada dalam sampel. Setelah nilai pCa dan pAlk diketahui, hitung *scaling index* dengan menggunakan nilai pH aktual dari fluida. *Scaling index* ini akan memberikan gambaran apakah fluida berpotensi membentuk *scale* atau masih berada dalam kondisi aman. Pemahaman terhadap perhitungan ini memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai kestabilan air formasi, serta menjadi dasar dalam penentuan langkah-langkah pengendalian pembentukan *scale*.

A. Perhitungan Scale Index $CaCO_3$ Pada 77 °F

Tabel 2. Hasil Analisa *Scale* $CaCO_3$

No	Parameter	Satuan	Hasil		Keterangan
			@77 °F	@135 °F	
1	pH	-	8.56	7.96	-
2	μ [Total Ionic Strength]	-	0.260948	0.260948	-
3	K	mg/l	2.90	2.04	-
4	pCa	mg/l	3.08	3.08	-
5	pAlk	mg/l	1.28	1.28	-
6	SI [Scaling Index]	-	1.30	1.56	Ada Kecenderungan

Scaling Index dapat dihitung setelah data hasil uji formasi pada Tabel 2 didapatkan. Guna *scaling index* untuk mengidentifikasi terbentuknya $CaCO_3$ pada sumur QWE. Untuk mencari *scaling index*, perlu menentukan nilai K dari $CaCO_3$ dengan menarik garis jingga diatas menggunakan grafik pada Gambar 3 [8].



Gambar 3. Diagram Stiff and Davis [7].

Tabel 3 Faktor konversi ion menjadi kekuatan ion CaCO_3 pada 77 °F

Ion	Konsentrasi	Faktor Konversi	Ion Strength
Na	5695.1	0.000022	0,1252922
Ca	33.70	0.00005	0.001685
Cl	6,647.3	0.000014	0,00930622
SO ₄	498.00	0.000021	0,010458
HCO ₃	3,050.00	0.000082	0,10065
Total Ionic Strength			0.260948

Berdasarkan Tabel 2, nilai K sebesar 2.90. Selain nilai K, pCa dan pAlk juga dibutuhkan untuk mencari *scaling index* menggunakan konsentrasi dari Ca^{2+} , CO_3^{2-} , dan HCO_3^- yang dapat dilihat pada Tabel 5.

$$pCa = 4.5997 - 0.4337 \ln (\text{Ca}^{2+})$$

$$pCa = 4.5997 - 0.4337 \ln (33.70)$$

$$pCa = 3.08$$

$$pAlk = 4.819 - 0.4375 \ln (\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}^-)$$

$$pAlk = 4.819 - 0.4375 \ln (3170)$$

$$pAlk = 1.28$$

Setelah pCa dan pAlk didapat, hitung *scaling index* dengan mengetahui pH sebesar 8.56.

$$SI = pH - K - pCa - pAlk$$

$$SI = 8.56 - 2.90 - 3.08 - 1.28$$

$$SI = 1.3$$

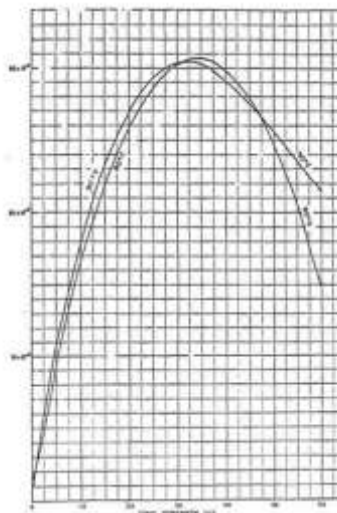
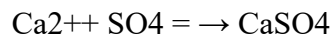
Dari hasil analisa tersebut menyatakan bahwa nilai *scale index* lebih besar dari 0, yang artinya air produksi pada sumur QWE memiliki kecenderungan dalam pembentukan *scale* CaCO₃ baik dalam temperatur permukaan maupun reservoir.

B. Perhitungan *Scale Index* CaSO₄ Pada 77 °F

Selanjutnya adalah pengidentifikasian jenis *scale* CaSO₄ berdasarkan Tabel 5 dengan langkah-langkah yang sama namun dengan cara perhitungan yang berbeda. Reaksi CaSO₄ adalah dengan ion kalsium dan ion sulfat [9]. Gambar 4 menunjukkan hubungan antara *Ionic Strength* dengan kelarutan CaSO₄. Nilai K dapat di prediksi Dengan menarik garis lurus antara dua perbandingan tersebut. Diagram ini membantu memprediksi kecenderungan air untuk membentuk atau melarutkan CaSO₄ pada kondisi tertentu. Nilai K diketahui berdasarkan Tabel 2 sedangkan konsentrasi Ca²⁺ dan SO₄²⁻ dapat dilihat berdasarkan Tabel 5.

Tabel 4. Hasil Analisa *Scale* CaSO₄

No	Paramater	Satuan	Hasil CaSO ₄
1	μ [Total Ionic Strength]	-	0.260948
2	K @ 77 °F	-	6.30E-04
3	K @ 140 °F	-	6.30E-04
4	Tingkat Kelarutan @ 77°F	meq/l	56.73
5	Tingkat Kelarutan @ 135°F	meq/l	54.73
6	Konsentrasi Sebenarnya	meq/l	1.685
7	Keterangan	-	Tidak ada kecenderungan



Gambar 4. Diagram Skillman, McDonald and Stiff [10].

Tabel 5. Faktor konversi ion menjadi kekuatan ion CaSO₄ pada 77 °F

Ion	Konsentrasi (mg/l)	Faktor Konversi	<i>Ionic Strength</i>
Ca ²⁺	33.70	0.000025	0.0008425
SO ₄ ²⁻	498.00	0.0000104	0.0051792

$$X = |[Ca^{2+}] - [SO_4^{2-}]|$$

$$X = 0.0008425 - 0.0051792$$

$$X = -0.0043367$$

$$S = 1000[\{X + 4(K)\}^{0.5} - X]$$

$$S = 1000[\{-0.0008425 + 4(0.00063)\}^{0.5} - (-0.0008425)]$$

$$S = 41.71 \text{ mg/l}$$

Dari hasil perhitungan *scale index* CaCO_3 di atas, nilai $SI > 0$ yang mana dapat diidentifikasi sebagai pembentukan *scale* CaCO_3 dan nilai $S > S'$ maka *scale* CaSO_4 tidak akan terbentuk pada sumur QWE. Dapat diidentifikasi bahwa *scale* CaSO_4 cenderung tidak membentuk *scale* karena nilai $[S]$ lebih besar daripada Ca^{2+} dan SO_4^{2-} . Jadi diketahui bahwa pada sumur QWE dominan terbentuk *scale* dengan jenis CaCO_3 .

4. SIMPULAN

Hasil penelitian yang diperoleh bahwa potensi terbentuknya endapan *scale* yang dominan berupa Kalsium Karbonat. Hal ini terlihat dari nilai *Saturation Index* sebesar 1,3 (lebih besar dari 0), yang menandakan kondisi air sudah jenuh dan berpotensi membentuk endapan *scale*, sedangkan Kalsium Sulfat tidak berpotensi membentuk *scale* karena nilai kelarutan gypsum sebesar 41,71 mg/l, menunjukkan angka yang lebih tinggi dibandingkan dengan kelarutan Kalsium Sulfat aktual. Untuk penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan membandingkan *Saturation Index* dan kelarutan gypsum pada suhu yang berbeda.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Irawan, "EVALUASI PENANGGULANGAN PROBLEM SCALE PADA FLOWLINE SUMUR TLJ-XXX DI PT . PERTAMINA EP ASSET II".
- [2] R. C. Kinasih, M. Amin, A. Prabu, J. T. Pertambangan, F. Teknik, and U. Sriwijaya, "ANALISA HASIL ACIDIZING TREATMENT UNTUK MENANGGULANGI SCALE CaCO_3 DALAM UPAYA MENGOPTIMALKAN KEMAMPUAN BERPRODUKSI SUMUR R-11 PT . PERTAMINA EP ASSET 2 LIMAU THE RESULT ANALISYS OF ACIDIZING TREATMENT FOR TAKLING SCALE CaCO_3 IN EFFORT TO OPTIMIZE THE ABILITY WELL R-11 PRODUCTION IN PT . PERTAMINA EP ASSET 2 LIMAU FIELD," 2013.
- [3] Q. Lailiyah and M. A. Baqiya, "Pengaruh Temperatur dan Laju Aliran Gas CO_2 pada Sintesis Kalsium Karbonat Presipitat dengan Metode Bubbling," vol. 1, no. 1, 2012.
- [4] R. Friadi, U. A. Prabu, and H. Iskandar, "EVALUASI PENANGGULANGAN SCALE DENGAN METODE INJECT SCALE INHIBITOR PADA SUMUR ' X ' DI PT PERTAMINA EP ASSET 2 FIELD LIMAU EVALUATION SCALE TACKLING OF SCALE INHIBITORS USING THE INJECTION WELLS " X " IN PT PERTAMINA".
- [5] P. Lapangan, P. Pt, and P. Hulu, "PENENTUAN KECENDERUNGAN PEMBENTUKAN SCALE PMB-X," vol. 2, pp. 1–15, 2024.
- [6] "22.2".
- [7] P. Penelitian dan Pengembangan Kementerian ESDM Penelitian dan Pengembangan Teknologi Migas and K. Energi dan Sumber Daya Mineral Badan Penelitian dan Pengembangan Energi dan Sumber Daya Mineral Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Minyak dan Gas Bumi, "SINTESIS ADITIF SCALE REMOVAL BERBASIS ASAM ORGANIK NON KOROSIF UNTUK PENANGANAN SCALE SILIKA DAN KARBONAT DI SUMUR MIGAS DAN PANAS BUMI ' L E M I G A S .'"
- [8] E. Permasalahan *et al.*, "Jurnal Teknik Patra Akademika Vol 8. No.1 Juli 2017," vol. 8, no. 1, pp. 11–21, 2017.

- [9] F. Cepu, "EVALUASI POTENSI SCALING PADA PIPA PRODUKSI DI LAPANGAN TAPEN PT PERTAMINA EP ASSET 4," vol. 2, no. November, pp. 1–10, 2022.
- [10] M. E. A. Ali, "Nanofiltration process for enhanced treatment of RO brine discharge," *Membranes (Basel)*, vol. 11, no. 3, Mar. 2021, doi: 10.3390/membranes11030212.

Daftar Simbol

SI	=	Scale Index
pH	=	Power Hydrogen
K	=	Konstanta
μ	=	Total Ionic Strength
pCa	=	Konsentrasi Kalsium
pAlk	=	Total Alkalinitas
X	=	Konsentrasi Kalsium dengan Sulfat
S'	=	Kelarutan CaSO ₄ aktual, meq/L
S	=	Kelarutan gypsum dalam meq/liter