

Terjadinya kerak disebabkan oleh dua faktor utama, yaitu: pertama, campuran air yang tidak sesuai (air yang diinjeksikan mengandung ion sulfat dan air formasi reservoir mengandung ion barium), yang menghasilkan endapan kerak barium sulfat. Kedua, perubahan kondisi seperti pH, temperatur dan lain-lain. Seperti dijelaskan di atas bahwa kerak barium sulfat terbentuk, jika hasil kali konsentrasi kelarutan ion barium dan ion sulfat melebihi K_{sp} $BaSO_4$ dan ini berarti larutan tersebut telah jenuh (supersaturasi). Persyaratan yang diperlukan untuk terjadinya kerak, tidak hanya ditentukan oleh tingkat supersaturasi, juga diperlukan *waktu kontak* yang cukup antara ion barium dengan ion sulfat, sehingga terbentuk kerak barium sulfat melalui beberapa tahap mekanisme. Hal ini akan dijelaskan di bawah ini.

Mekanisme yang terjadi pada pembentukan kerak melalui beberapa tahap, dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Kondisi tidak jenuh

Hasil kali konsentrasi kelarutan ion barium dan ion sulfat lebih kecil dari pada K_{sp} $BaSO_4$ dan ini berarti larutan tidak jenuh.

2. Kondisi jenuh.

Hasil kali konsentrasi kelarutan ion barium dan ion sulfat melebihi K_{sp} $BaSO_4$ dan ini menunjukkan larutan jenuh.

3. Awal pembentukan presipitasi (berbentuk *nuclei*).

4. Pertumbuhan kristal.

5. Kerak (kristal yang dapat terlihat oleh mata).

III. TEORI PEMBENTUKAN SENYAWA KOMPLEKS

Senyawa kompleks adalah senyawa yang mengandung suatu atom atau ion pusat, yang biasanya suatu logam yang dikelilingi oleh sekelompok ion atau molekul netral yang masing-masing mempunyai satu atau lebih pasangan elektron bebas. Ion-ion atau molekul-molekul netral tersebut dinamakan *ligand*. Reaksi semacam tersebut dapat ditulis secara umum sebagai berikut:



M : kation logam pusat

L : *ligand*

ML : kompleksnya

Contoh:

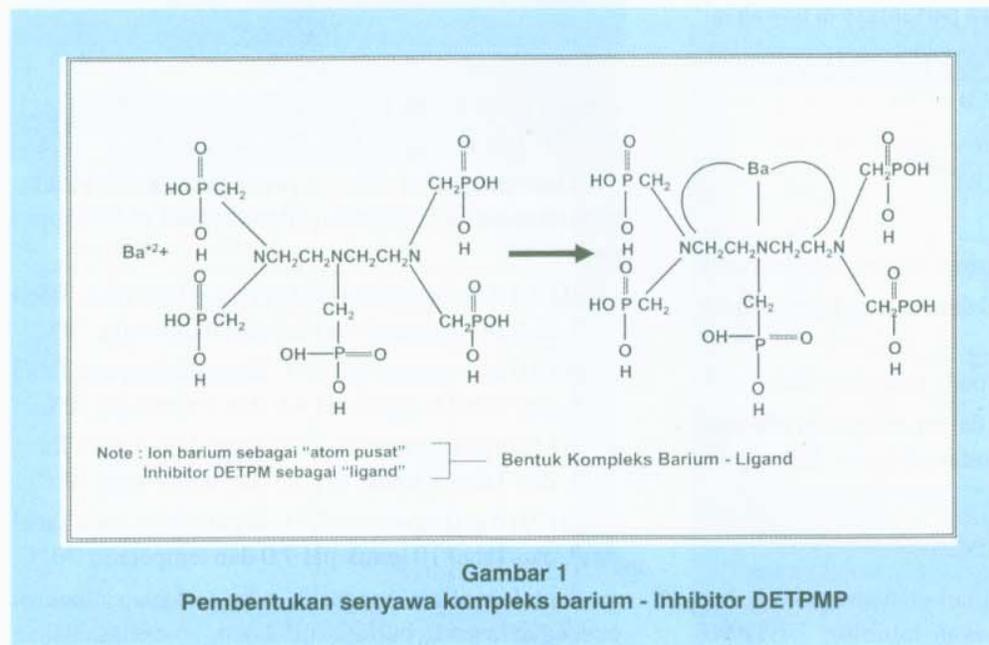


IV. EFEKTIVITAS INHIBITOR

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi efektivitas inhibitor dalam meminimalisasi kerak barium sulfat, antara lain sebagai dijelaskan dibawah ini.

A. Konsentrasi inhibitor

Inhibitor asam di-etilena triamina penta metilena fosfonat atau yang dikenal dengan singkatan DETPMP mempunyai berat molekul rata-rata 573 dan kandungan padat aktif 55 %. Struktur kimia inhibitor DETPMP ini diperlihatkan pada Gambar 1. Besarnya konsentrasi inhibitor yang diperlukan untuk meminimalkan kerak barium sulfat tergantung pada tingkat supersaturasinya. *Threshold treatment* adalah pada konsentrasi inhibitor tertentu (kecil) dapat



Gambar 1
Pembentukan senyawa kompleks barium - Inhibitor DETPMP

menekan presipitasi melalui mekanisme menurunkan kecepatan pertumbuhan kristal. Inhibitor dirancang untuk berperanan efektif pada kondisi tertentu.

B. pH

Mekanisme keefektifan inhibitor kerak dalam meminimalisasi endapan kerak barium sulfat, digambarkan dalam pembentukan senyawa kompleks antara inhibitor kerak yang berperanan sebagai *ligand* dan ion barium sebagai *kation logam pusat* yang sangat dipengaruhi oleh pH.

Sebagai contoh pada pH rendah (pH = 2,0) tidak terjadi disosiasi, sedangkan dengan naiknya pH dari 2,0 menjadi 7,0, pKa-nya bertambah ($pK_1 = 0$, $pK_2 = 0$, $pK_3 = 2,8$, $pK_4 = 4,45$, $pK_5 = 5,5$, $pK_6 = 6,38$, $pK_7 = 7,17$). Jadi, dengan naiknya pH, efektivitas inhibitor bertambah.

C. Temperatur

Kinerja efektivitas inhibitor sangat dipengaruhi oleh temperatur, terutama dari segi supersaturasi dan kelarutan. Semakin tinggi temperatur, nilai supersaturasi semakin turun, kelarutan semakin meningkat dan cenderung membentuk larutan tidak jenuh, sehingga efisiensi (%-Ba) yang didapatkan akan naik untuk inhibitor DETPMP.

V. METODOLOGI

Prosedur uji *beaker static* efisiensi pencegahan kerak barium sulfat diperlihatkan secara skematis pada Gambar 1.

Efisiensi pencegahan kerak barium sulfat dapat dihitung dengan menggunakan persamaan di bawah ini:

$$\begin{aligned} \text{Efisiensi (\%)} &= \frac{(C_o - C_b) - (C_o - C_i)}{(C_o - C_b)} \times 100 \\ &= \frac{(C_i - C_b)}{(C_o - C_b)} \times 100 \end{aligned}$$

di mana :

C_o = konsentrasi awal barium dalam larutan ($t=0$).

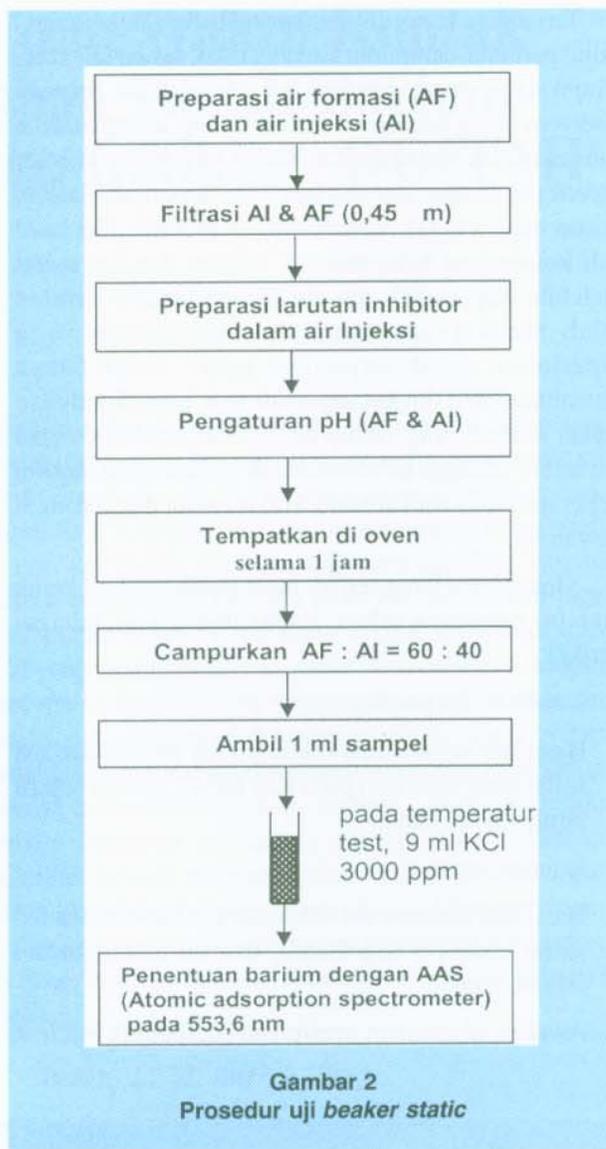
C_b = konsentrasi barium dalam larutan blanko (tidak ada inhibitor).

C_i = konsentrasi barium pada sampling ($t=i$).

Contoh air yang digunakan dalam pengujian efisiensi pencegahan kerak barium sulfat ini dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2.

VI. HASIL DAN DISKUSI

Dalam penelitian pengujian efisiensi pencegahan kerak barium sulfat digunakan inhibitor DETPMP



Gambar 2
Prosedur uji *beaker static*

dengan konsentrasi 10 ppm pada variasi pH (2,0, 4,0, 5,5, 7,0) dan temperature 25°C dan 75°C.

Hasil pengujian efisiensi pencegahan kerak barium sulfat dengan menggunakan inhibitor DETPMP 10 ppm pada :

- pH 2,0 dan temperatur 25°C dapat dilihat pada Tabel 3, dan Tabel 4 untuk pH 2,0 dan temperatur 70°C.
- pH 4,0 dan temperature 25°C dapat dilihat pada Tabel 5, dan Tabel 6 untuk pH 4,0 dan temperatur 70°C.
- pH 5,5 dan temperature 25°C dapat dilihat pada Tabel 7, dan Tabel 8 untuk pH 5,5 dan temperatur 70°C.
- pH 7,0 dan temperature 25°C dapat dilihat pada Tabel 9, dan Tabel 10 untuk pH 7,0 dan temperatur 70 °C.

Untuk melihat pengaruh suhu terhadap efisiensi pencegahan kerak barium sulfat dengan menggunakan

Tabel 1
Komposisi air injeksi

Jenis Ion	Konsentrasi (ppm)
Na ⁺	10800
Ca ⁺²	428
Mg ⁺²	1368
K ⁺	460
SO ₄ ⁼	2960
Cl	19766

Tabel 2
Komposisi air formasi

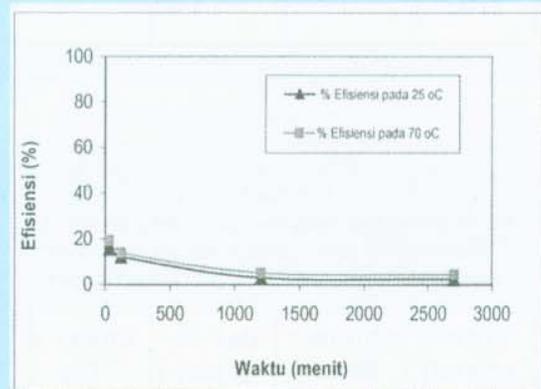
Jenis Ion	Konsentrasi (ppm)
Na ⁺	29400
Ca ⁺²	2800
Mg ⁺²	500
K ⁺	370
Sr ⁺²	575
Ba ⁺²	250
Cl	52674

Tabel 3
Hasil pengujian efisiensi pencegahan kerak barium sulfat pada pH 2,0, temperatur 25 °C dan konsentrasi inhibitor DETPMP 10 ppm

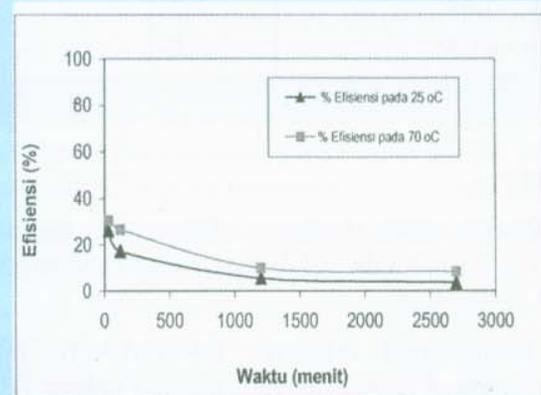
Waktu (menit)	Inhibitor / Blank	Barium (ppm)	Efisiensi (%)
30	DETPMP	33,00	15,70
120		25,10	12,29
1200		5,80	2,96
2700		4,70	2,48
30	Blank	11,20	
120		7,60	
1200		1,40	
2700		1,00	

inhibitor DETPMP 10 ppm pada:

- pH 2,0.
Petakan waktu (menit) vs efisiensi (%) dari data Tabel 3 dan Tabel 4. Hasilnya diperlihatkan pada Gambar 3.
- pH 4,0.
Petakan waktu (menit) vs efisiensi (%) dari data Tabel 5 dan Tabel 6. Hasilnya diperlihatkan pada Gambar 4.
- pH 5,5.
Petakan waktu (menit) vs efisiensi (%) dari data Tabel 7 dan Tabel 8 Hasilnya diperlihatkan pada Gambar 5.



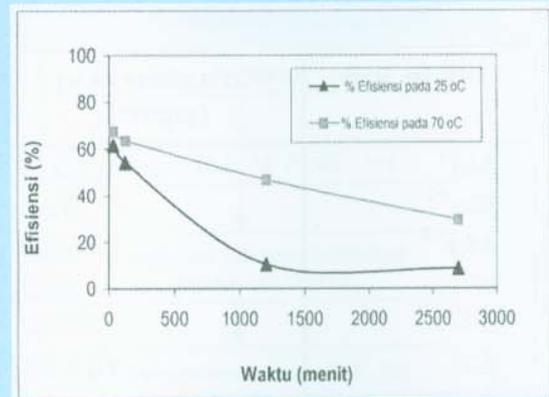
Gambar 3
Pengaruh temperatur terhadap efisiensi pencegahan kerak barium sulfat pada pH 2,0 dan konsentrasi inhibitor DETPMP 10 ppm



Gambar 4
Pengaruh temperatur terhadap efisiensi pencegahan kerak barium sulfat pada pH 4,0 dan konsentrasi inhibitor DETPMP 10 ppm

Tabel 4
Hasil pengujian efisiensi pencegahan kerak barium sulfat pada pH 2,0, temperatur 70 °C dan konsentrasi inhibitor DETPMP 10 ppm

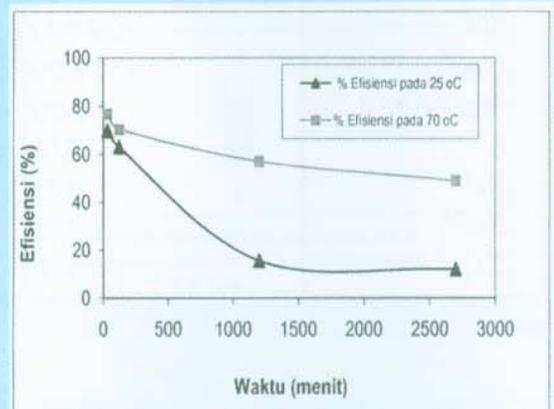
Waktu (menit)	Inhibitor/ <i>Blank</i>	Barium (ppm)	Efisiensi (%)
30	DETPMP	39,10	19,29
120		29,00	14,06
1200		9,50	5,19
2700		8,20	4,51
30	<i>Blank</i>	12,60	
120		9,20	
1200		1,80	
2700		1,50	



Gambar 5
Pengaruh temperatur terhadap efisiensi pencegahan kerak barium sulfat pada pH 5,5 dan konsentrasi inhibitor DETPMP 10 ppm

Tabel 5
Hasil pengujian efisiensi pencegahan kerak barium sulfat pada pH 4,0, temperatur 25°C dan konsentrasi inhibitor DETPMP 10 ppm

Waktu (menit)	Inhibitor/ <i>Blank</i>	Barium (ppm)	Efisiensi (%)
30	DETPMP	48,40	26,22
120		34,90	17,31
1200		11,10	5,70
2700		7,40	3,78
30	<i>Blank</i>	12,30	
120		10,80	
1200		2,70	
2700		1,80	



Gambar 6
Pengaruh temperatur terhadap efisiensi pencegahan kerak barium sulfat pada pH 7,0 dan konsentrasi inhibitor DETPMP 10 ppm

- pH 7,0.

Petakan waktu (menit) vs efisiensi (%) dari data Tabel 9 dan Tabel 10. Hasilnya diperlihatkan pada Gambar 6.

Konsentrasi inhibitor DETPMP 10 ppm menunjukkan bahwa inhibitor tersebut bekerja tidak efektif pada pH 2,0 untuk mencegah terbentuknya kerak barium sulfat. Hal ini dapat dilihat dengan jelas pada Gambar 3, di mana pada waktu pengambilan percontoh (t = 2700 menit), nilai persentase efisiensi

(%) sangat rendah sekitar 2,48% pada 25°C dan 4,51 % pada 70°C.

Di lain pihak pada pH 4,0 dan waktu sampling (t = 2700 menit), nilai persentase efisiensi (%) yang diperoleh masih sangat rendah juga, yaitu 3,78% pada 25°C dan 8,52% pada 70°C. Dalam hal ini, inhibitor DETPMP 10 ppm pada pH 4,0 bekerja tidak efektif untuk mencegah terbentuknya *scale* barium sulfat (lihat Gambar 4).

Selanjutnya, pengujian dilakukan pada pH yang ditingkatkan, yaitu pH 5,5. Pada waktu pengambilan

Tabel 6

Hasil pengujian efisiensi pencegahan kerak barium sulfat pada pH 4,0, temperatur 70°C dan konsentrasi inhibitor DETPMP 10 ppm

Waktu (menit)	Inhibitor/ Blank	Barium (ppm)	Efisiensi (%)
30	DETPMP	56,20	30,57
120		49,40	26,66
1200		18,40	10,17
2700		14,80	8,52
30	Blank	14,90	
120		12,82	
1200		3,50	
2700		2,20	

Tabel 9

Hasil pengujian efisiensi pencegahan kerak barium sulfat pada pH 7,0, temperatur 25°C dan konsentrasi inhibitor DETPMP 10 ppm

Waktu (menit)	Inhibitor/ Blank	Barium (ppm)	Efisiensi (%)
30	DETPMP	112,30	69,72
120		101,70	63,04
1200		26,60	15,54
2700		20,30	12,06
30	Blank	25,50	
120		19,30	
1200		3,90	
2700		2,51	

Tabel 7

Hasil pengujian efisiensi pencegahan kerak barium sulfat pada pH 5,5, temperatur 25°C dan konsentrasi inhibitor DETPMP 10 ppm

Waktu (menit)	Inhibitor/ Blank	Barium (ppm)	Efisiensi (%)
30	DETPMP	98,60	61,61
120		87,90	54,20
1200		18,80	10,38
2700		14,70	8,52
30	Blank	16,10	
120		14,40	
1200		3,60	
2700		2,10	

Tabel 10

Hasil pengujian efisiensi pencegahan kerak barium sulfat pada pH 7,0 temperatur 70°C dan konsentrasi inhibitor DETPMP 10 ppm

Waktu (menit)	Inhibitor/ Blank	Barium (ppm)	Efisiensi (%)
30	DETPMP	122,60	76,97
120		112,30	70,47
1200		87,70	57,15
2700		75,00	48,95
30	Blank	31,00	
120		22,30	
1200		4,60	
2700		3,10	

Tabel 8

Hasil pengujian efisiensi pencegahan kerak barium sulfat pada pH 5,5 temperatur 70°C dan konsentrasi inhibitor DETPMP 10 ppm

Waktu (menit)	Inhibitor/ Blank	Barium (ppm)	Efisiensi (%)
30	DETPMP	107,90	67,69
120		101,70	63,76
1200		72,60	46,91
2700		45,90	29,47
30	Blank	19,70	
120		16,70	
1200		4,20	
2700		2,40	

percontohan 2700 menit, inhibitor DETPMP 10 ppm pada temperatur 25°C menghasilkan nilai persentase efisiensi masih sangat rendah juga, yaitu: 8,52 %. Akan tetapi, pada kondisi temperatur 70°C dan pH 5,5, inhibitor DETPMP 10 ppm menunjukkan kenaikan nilai persentase efisiensi pencegahan kerak barium sulfat, yaitu : 29,47 % (lihat Gambar 6.3).

Tahap selanjutnya, tes pengujian dilakukan pada pH 7,0. Inhibitor DETPMP 10 ppm pada temperatur 70°C dan pH 7,0 menghasilkan nilai persentase efisiensi pencegahan kerak barium sulfat 4 kali lebih tinggi dari pada nilai efisiensi pada temperatur 25°C dan pH 7,0. Pada waktu pengambilan percontohan 2700 menit, nilai persentase efisiensi pencegahan kerak barium sulfat adalah 48,95% pada temperatur 70°C dan pH 7,0, dan 12,06% pada 25°C dan pH 7,0 (lihat Gambar 6).

Hasil pengujian ini menjelaskan betapa besarnya pengaruh pH dan temperatur terhadap efektivitas inhibitor dalam meminimalisasi terbentuknya kerak barium sulfat.

Secara umum, Gambar 3 sampai dengan Gambar 6 memperlihatkan bahwa dengan bertambahnya waktu kontak antara air formasi (yang mengandung ion barium) dengan air injeksi (yang mengandung ion sulfat dan atau tanpa inhibitor), harga nilai persentase efisiensi pencegahan kerak barium sulfat cenderung menurun. Ini membuktikan bahwa proses terbentuknya kerak barium sulfat terus berlangsung dan terbentuknya *scale* barium sulfat tidak hanya ditentukan oleh tingkat supersaturasi, tetapi dipengaruhi pula oleh waktu kontak antara ion barium dengan ion sulfat, sehingga terbentuk kerak barium sulfat.

VII. KESIMPULAN

Hasil penelitian dan diskusi dalam paper ini dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Inhibitor asam dietilena triamina penta metilena fosfonat atau yang dikenal dengan singkatan DETPMP (konsentrasi 10 ppm) bekerja tidak efektif pada pH rendah dan temperatur rendah dalam mengatasi terbentuknya kerak barium sulfat. Hasil pengujian menunjukkan nilai persentase efisiensi (%) pencegahan *scale* barium sulfat sangat rendah, yaitu:
 - 2,48% (pada pH 2,0 dan 25°C).
 - 3,78% (pada pH 4,0 dan 25°C).

hanya dipengaruhi oleh faktor pH dan temperatur, tetapi juga dipengaruhi oleh faktor waktu kontak antara air formasi (mengandung ion barium) dengan air injeksi (mengandung ion sulfat, sehingga terbentuk kerak barium sulfat.

KEPUSTAKAAN

1. Patton, C.C., 1977, "Oilfield Water System", Petroleum Series, Norman, Oklahoma, p. 49 – 85.
2. Vetter, O.J., 1975, "How Barium Sulphate is Formed: An Interpretation", J.P.T, Dec, p. 1515 – 1524.
3. Johnson, K.S., 1983, "Water Scaling Problems in the Oil Production Industry", Chem in Oil Industry, p. 140 – 151.
4. Ralston, P.H., 1973, "Phosphonate - A Chem. Answer to Oilfield Water Problems," Paper prepared for Oilfield Chemistry Symposium of SPE, Denver, Colorado, May, 24 – 25, p. 37 – 47.
5. Templeton, C.C., 1960, "Solubility of Barium Sulphate in Sodium Chloride Solutions from 25°C to 95°C", J. Chem. And Eng. Data, Vol. 5, October, p. 514-516.
6. Cowan, J.C. and Weintritt, D.J., 1976, "Water Formed Scale Deposits", Gulf Publishing Company, Houston.
7. Hardi, J.A., 1992, "Scale Control", Advanced in Solving Oilfield Scaling Problems Documentation, Aberdeen, United Kingdom, October. •