

Mekanisme dan Analisis Pembentukan Endapan Barium Sulfat di dalam Industri Perminyakan

Oleh:

Tjuwati Makmur dan Nuraini

I. PENDAHULUAN

Dalam industri perminyakan, endapan telah dikenal sebagai salah satu problem yang serius dan terbentuk di fasilitas produksi minyak dan gas bumi, di sekeliling lubang bor serta di dalam reservoir, yang mengakibatkan laju produksi berkurang karena aliran menjadi terbatas, terhambat oleh berkurangnya diameter pipa-pipa, tubing, lubang perforasi dan ruang pori formasi produktif. Bila laju produksi berkurang, tidak diatasi dengan segera, tentu akan menimbulkan dampak negatif di dalam industri perminyakan, yaitu kerugian yang terbesar sebagai akibat penurunan produksi. Endapan yang umum ditemui di lapangan minyak ada beberapa jenis, seperti kalsium karbonat (CaCO_3), kalsium sulfat termasuk gips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) dan anhidrit (CaSO_4), serta barium sulfat (BaSO_4). Batas kelarutan kalsium karbonat dan kalsium sulfat dalam air adalah 20 mg/l dan 2000 mg/l pada 25°C. Batas kelarutan barium sulfat dalam air adalah 2,3 mg/l pada 25°C dan 3,9 mg/l pada 95°C. Endapan yang paling sulit dipindahkan adalah endapan barium sulfat karena mempunyai sifat kelarutan yang sangat rendah. Oleh sebab itu, penulisan makalah ini difokuskan terhadap mekanisme, persyaratan dan analisis pembentukan endapan, dengan contoh kasus endapan barium sulfat.

II. MEKANISME

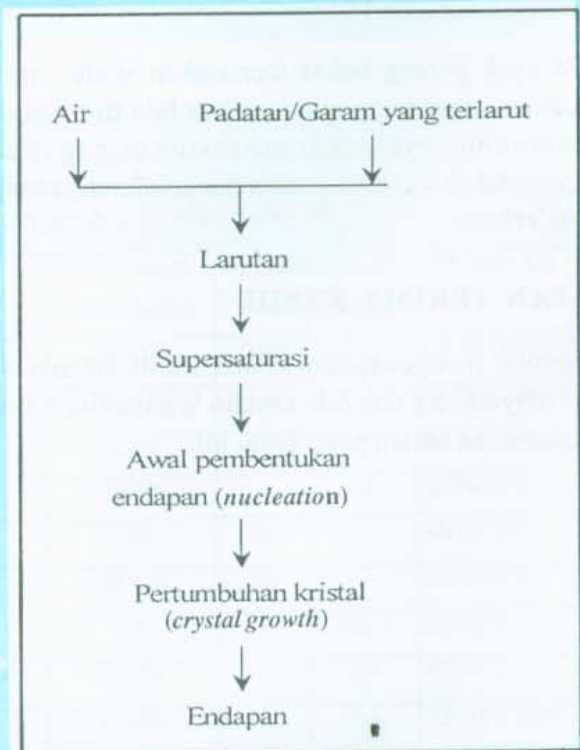
Endapan didefinisikan sebagai endapan anorganik yang keras, melekat dan terbentuk dari larutan. Banyak faktor yang dapat menimbulkan terjadinya endapan dalam industri perminyakan dan jenis endapan yang terbentuk juga berbeda-beda. Perubahan temperatur dan waktu kontak juga merupakan penyebab utama terjadinya endapan karena dengan adanya perubahan kondisi tersebut, juga dalam tingkat kelarutan dari mineral endapan. Penelitian tentang mekanisme terbentuknya endapan, digambarkan secara skematik pada Gambar 1.

III. PERSYARATAN

Kunci persyaratan untuk pembentukan endapan memerlukan tiga faktor serentak, yaitu: supersaturasi, awal pembentukan kristal (*nucleation*) dan waktu kontak yang cukup.

A. Larutan

Agar reaksi kimia antara dua buah zat dapat berlangsung, molekul-molekul zat yang bereaksi itu harus bertumbukan satu sama lain. Cepat atau lambatnya suatu reaksi sangat tergantung pada sampai seberapa jauh dapat terjadi tumbukan antara molekul. Misalnya, jika zat A dan zat B dicampurkan dalam keadaan padat, tidak terlihat suatu perubahan yang



Gambar 1
Mekanisme pembentukan endapan

berarti. Akan tetapi, jika kedua zat itu dilarutkan dahulu dalam air, kemudian larutan-larutan tersebut dicampurkan, reaksi kimia antara kedua zat itu cepat sekali berlangsung. Hal ini disebabkan karena molekul dalam larutan lebih leluasa bertumbukan dibandingkan dengan molekul pada zat padat. Itulah sebabnya bentuk larutan selalu dipakai untuk melaksanakan reaksi kimia.

Sebelum melangkah ke arah pembicaraan lebih lanjut, terlebih dahulu dibahas tentang larutan. Larutan adalah campuran homogen (serba sama) antara dua zat atau lebih; suatu campuran dikatakan homogen apabila komponen-komponen yang menyusun campuran itu tidak dapat dibedakan satu sama lain. Larutan tersusun dari pelarut dan zat terlarut; yang dimaksud dengan pelarut adalah komponen larutan yang jumlahnya paling banyak, dan komponen lain dalam larutan itu yang jumlahnya sedikit disebut zat terlarut. Pada kebanyakan reaksi kimia, baik di laboratorium maupun di bidang industri, pelarut yang umum digunakan adalah air. Banyaknya zat yang terlarut yang dibandingkan terhadap jumlah pelarut, disebut dengan konsentrasi larutan. Suatu larutan yang mengandung zat terlarut banyak disebut sebagai larutan yang konsentrasinya besar atau larutan yang pekat. Sedangkan larutan yang zat terlarutnya sedikit adalah larutan yang konsentrasinya kecil atau larutan yang encer. Zat-zat yang jika dilarutkan ke dalam air akan terurai menjadi ion-ion (terionisasi). Oleh karena dalam larutan terdapat ion-ion, maka larutan elektrolit mempunyai sifat dapat menghantar listrik. Zat-zat yang tergolong elektrolit adalah asam, basa dan garam.

Air formasi mengandung campuran homogen dari beberapa jenis garam yang terlarut di dalamnya, yaitu NaCl , $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, KCl , $\text{SrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dan $\text{BaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Sedangkan, air injeksi mengandung campuran homogen dari garam-garam NaCl , $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, KCl dan Na_2SO_4 yang terlarut di dalamnya. Ion barium yang terdapat dalam air formasi adalah ion bervalensi dua, bersifat memberikan dua elektron dan bermuatan positif. Akan tetapi, ion sulfat yang berasal dari air injeksi adalah ion bervalensi dua, bersifat menerima dua elektron dan bermuatan negatif. Antara ion yang bermuatan positif dan ion bermuatan negatif terjadi tarik menarik akibat perbedaan muatan, sehingga membentuk senyawa, sebagai contoh; pembentukan endapan barium sulfat.

B. Supersaturasi

Ion barium dan ion sulfat merupakan ion-ion yang dapat membentuk endapan barium sulfat pada batas kelarutan tertentu. Apabila air injeksi (mengandung

ion sulfat) diinjeksikan ke dalam reservoir bercampur dengan air formasi (mengandung ion barium) sehingga menghasilkan campuran air yang tidak sesuai (*incompatible water*) berupa endapan barium sulfat.

1. Kestimbangan endapan-larutan

Dalam kebanyakan senyawa anorganik yang padat, satuan kisi-kisi hablur adalah ion, dan bukan molekul-molekul. Jika zat padat macam ini ditempatkan dalam air, beberapa ion dapat meninggalkan fase padat dan masuk ke dalam larutan. Apabila konsentrasi ion-ion dalam larutan bertambah besar, kecepatan ion-ion yang meninggalkan larutan untuk mengendap kembali pada zat padat, akan juga bertambah besar. Pada suatu ketika, kecepatan ion-ion yang meninggalkan zat padat sama besarnya dengan kecepatan ion-ion yang mengendap kembali pada zat padat, dalam hal ini terjadi keseimbangan. Jika suatu zat secara terus menerus ditambahkan ke dalam air, maka pada suatu saat zat tersebut tidak akan larut lagi. Ini berarti pada saat itu konsentrasi zat terlarut sudah mencapai harga yang maksimum (tidak dapat diperbesar lagi). Larutan yang telah mengandung zat terlarut dalam konsentrasi yang maksimum itu disebut larutan jenuh. Dan harga konsentrasi yang maksimum itu dinamakan kelarutan (*solubility*) dari zat terlarut. Setiap elektrolit mempunyai suatu besaran yang disebut hasil kali kelarutan (K_{sp}). K_{sp} didefinisikan sebagai hasil kali konsentrasi ion-ion suatu elektrolit dalam larutan yang tepat jenuh/seimbang.

2. Fungsi harga K_{sp}

Harga K_{sp} suatu elektrolit berfungsi untuk memperhitungkan apakah elektrolit itu masih dapat larut ataukah mengendap dalam suatu larutan.

- Jika hasil kali konsentrasi ion-ion lebih kecil dengan K_{sp} elektrolit, maka larutan belum jenuh.
- Jika hasil kali konsentrasi ion-ion tepat sama dengan K_{sp} elektrolit, maka larutan tepat jenuh. Artinya elektrolit itu masih dapat larut, tetapi tidak dapat ditambah lagi.
- Jika hasil kali konsentrasi ion-ion lebih besar dari K_{sp} elektrolit, maka larutan lewat jenuh. Akibatnya, elektrolit itu akan mengendap.

Larutan telah jadi jenuh, dan tidak terjadi perubahan lebih lanjut dalam konsentrasi zat yang terlarut, meskipun selalu terjadi peristiwa terlarutnya ion-ion dan mengendap kembali ion-ion pada zat padat. Banyaknya zat yang dapat terlarut dalam pelarut tersebut, dibatasi oleh kejenuhan larutan itu. Untuk zat yang mudah larut dalam air, kelarutan dapat didefinisikan sebagai

jumlah mol zat yang dapat larut dalam 1 liter larutan. Jumlah ini tergantung dari temperatur dan berbeda untuk masing-masing zat. Pada proses ini dapat diterapkan hukum kesetimbangan kimia. Misalnya contoh barium sulfat padat dalam kesetimbangan dengan larutan barium-sulfat.

Reaksinya adalah sebagai berikut:



padat larutan

persamaan kesetimbangan adalah:

$$K = \frac{[\text{Ba}^{+2}]}{[\text{BaSO}_4]} \dots\dots\dots (2-1)$$

Mengingat bahwa konsentrasi zat padat adalah tetap, persamaan ini lazim ditulis sebagai berikut:

$$K = [\text{BaSO}_4] = K_{sp} = [\text{Ba}^{+2}][\text{SO}_4^{-}] \dots\dots\dots (2-2)$$

di mana K_{sp} = hasil kali kelarutan.

Jika:

$[\text{Ba}^{+2}] \times [\text{SO}_4^{-}] < K_{sp} [\text{BaSO}_4]$, disebut dengan larutan tidak jenuh

$[\text{Ba}^{+2}] \times [\text{SO}_4^{-}] = K_{sp} [\text{BaSO}_4]$, disebut dengan larutan setimbang

$[\text{Ba}^{+2}] \times [\text{SO}_4^{-}] > K_{sp} [\text{BaSO}_4]$, disebut dengan larutan jenuh

Persamaan di atas menggambarkan bahwa dalam larutan jenuh barium sulfat hasil perkalian konsentrasi ion-ion barium dan sulfat selalu tetap, tetapan keseimbangan selalu berubah harganya terhadap temperatur. Jika hendak memakai harga yang tepat, harus dinyatakan juga temperturnya. Harga yang terpakai di sini ditetapkan pada temperatur 25°C. Persamaan di atas hanya berlaku bagi elektrolit-elektrolit yang mempunyai batas kelarutan yang kecil dan di sini terutama dipakai konsentrasi dan bukan keaktifan ion-ion.

3. Cara perhitungan K_{sp} dari larutan

Besarnya hasil kali kelarutan dapat dihitung dengan mudah dari kelarutan garam. Sebaliknya kelarutan suatu garam dapat juga dihitung dari hasil kali kelarutan.

Contoh:

Batas kelarutan barium sulfat (BM = 233) ialah 0,0023 gram dalam 100 ml kelarutan pada temperatur 25°C. Hitung K_{sp} .

Batas kelarutan barium sulfat = 2,3 mg/100 ml = 0,023 mg/ml.

$$\begin{aligned} \text{Kemolaran} &= 0,023 / 233 \text{ mmol/ml} \\ &= 1,0 \times 10^{-5} \text{ mmol/ml.} \end{aligned}$$

Setiap 1 mmol barium sulfat menghasilkan 1 mmol Ba^{++} dan 1 mmol SO_4^{-}

$$[\text{Ba}^{++}] = [\text{SO}_4^{-}] = 1,0 \times 10^{-5} \text{ molar}$$

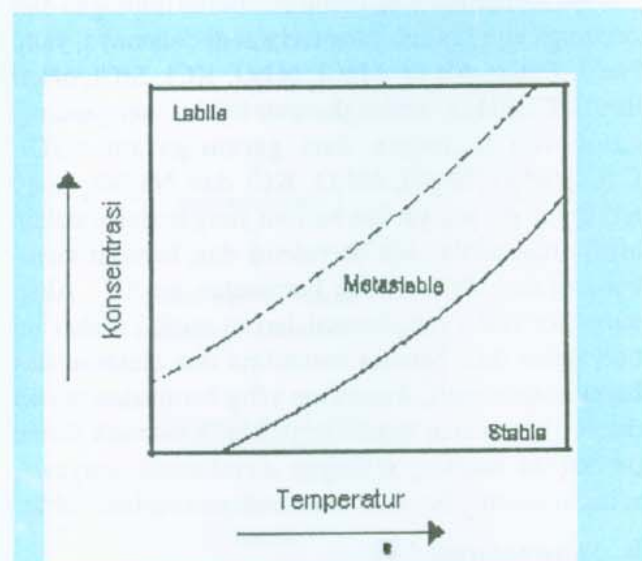
$$\begin{aligned} K_{sp} &= [\text{Ba}^{++}] \times [\text{SO}_4^{-}] = (1,0 \times 10^{-5})^2 \\ &= 1,0 \times 10^{-10} \end{aligned}$$

Gambar 2 disebut dengan diagram kelarutan vs larutan lewat jenuh (*solubility-supersolubility*) yang dimodifikasi oleh Kirk-Othmer pada tahun 1965. Diagram skema konsentrasi-temperatur ini mem-perlihatkan tiga jenis area, yaitu:

- a. Stabil:
 - Kristalisasi tidak terjadi karena kondisi larutan tidak jenuh.
- b. Metastabil:
 - Kristalisasi spontan tidak mungkin terjadi.
- c. Labil:
 - Kristalisasi spontan terjadi karena kondisi lewat jenuh.

4. Faktor-faktor yang mempengaruhi kelarutan barium sulfat

Pada prinsipnya endapan akan terbentuk apabila hasil kali konsentrasi ke larutan ion barium dan ion sulfat melebihi hasil kali kelarutan barium sulfat dan ini berarti larutan tersebut telah jenuh (*super saturasi*). Barium sulfat adalah endapan dengan daya larut yang sangat



Gambar 2
Diagram kelarutan vs larutan lewat jenuh

rendah yang kelarutannya sangat dipengaruhi oleh temperatur dan garam-garam yang terlarut. Gambar 3 menunjukkan efek temperatur terhadap kelarutan barium sulfat dalam larutan NaCl pada tekanan atmosphere. Data diplot sebagai fungsi kekuatan ion daripada konsentrasi natrium klorida.

Kekuatan ion adalah:

$$\mu = \frac{1}{2} (C_1 Z_{12} + C_2 Z_{22} + C_3 Z_{32} + \dots + C_n Z_{n2}) \dots (2-3)$$

dimana:

C = konsentrasi ion dalam mol / 1000 gram air

Z = valensi ion

Kelarutan endapan barium sulfat tersebut sangat rendah sekali. Contoh: batas kelarutan barium sulfat dalam air adalah 2,3 mg/l pada 25°C dan 3,9 mg/l pada 95°C. Pada temperatur 25°C, batas kelarutan barium sulfat dalam air adalah 2,3 mg/l dan 20 mg/l dalam larutan 5% brine.

C. Awal pembentukan presipitasi (nucleation)

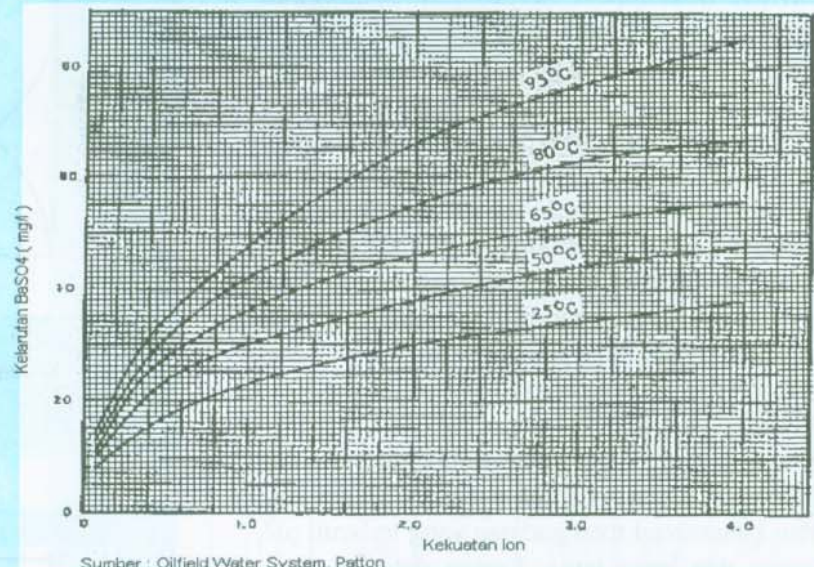
Ada dua jenis dasar mekanisme awal pembentukan presipitasi (*nucleation*), yaitu:

- presipitasi homogen,
- presipitasi heterogen.

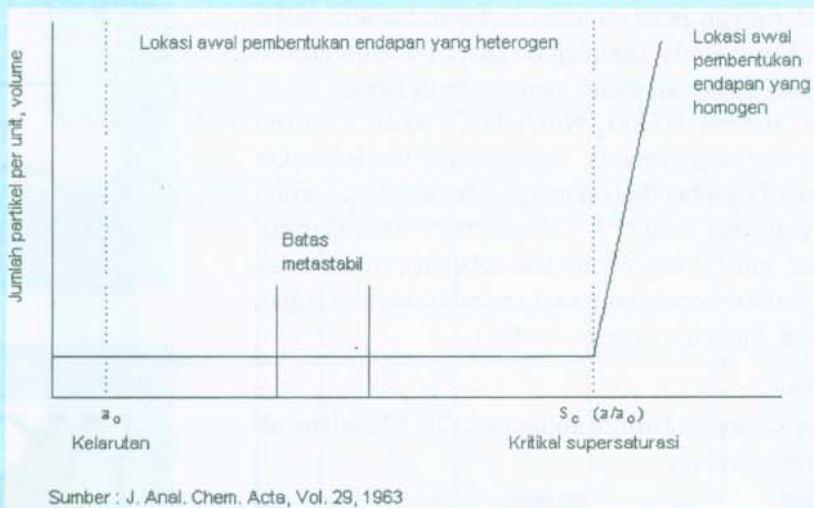
Efek konsentrasi reaktan terhadap jenis proses awal pembentukan reaksi yang dimodifikasi oleh Walton pada tahun 1965, dapat dilihat pada Gambar 4. Pada area awal pembentukan presipitasi heterogen menunjukkan jumlah partikel per unit volume kecil, ini berarti bahwa tingkat supersaturasi pada area awal pembentukan presipitasi heterogen lebih rendah dari awal pembentukan presipitasi homogen.

D. Pertumbuhan kristal (crystal growth)

Setelah mekanisme supersaturasi dan awal pembentukan presipitasi, tahap selanjutnya adalah



Gambar 3
Efek temperatur terhadap kelarutan BaSO₄ dalam larutan NaCl



Gambar 4
Efek konsentrasi reaktan terhadap jenis proses awal pembentukan presipitasi

pertumbuhan kristal. Prinsip pertumbuhan kristal ini dijelaskan pada Gambar 5, pada gambar ini waktu diplot *versus* konsentrasi pada kondisi awal reaksi (A) menjadi hasil reaksi (B).

Perhatikan reaksi di bawah ini :



Pada awal reaksi, hasil reaksi (B) belumlah ada

dalam campuran. Setelah reaksi makin berjalan, konsentrasi B semakin bertambah, sedangkan konsentrasi A semakin berkurang.

Mekanisme pembentukan endapan barium sulfat di samping ditentukan oleh tingkat supersaturasi, juga diperlukan waktu kontak yang cukup antara ion barium dan ion sulfat. Adanya waktu kontak yang cukup antara ion barium dan ion sulfat akan menghasilkan pertumbuhan kristal dan akhirnya terbentuk endapan barium sulfat (Gambar 6), kristal yang dapat dilihat secara visual. Pengamatan morfologi bentuk endapan barium sulfat dapat dilihat pada Gambar 7.

IV. CONTOH KASUS

Data-data yang diperlukan untuk meramalkan kecenderungan air membentuk endapan, antara lain: jenis dan konsentrasi total padatan yang terlarut, pH, temperatur dan berat jenis. Semua data ini dapat diperoleh dengan melakukan analisis terhadap contoh air tersebut. Dengan melihat akibat yang ditimbulkan oleh endapan barium sulfat, maka dilakukan penentuan kecenderungan pembentukan endapan barium sulfat dari air formasi agar persoalan yang diakibatkan timbulnya kerak ini dapat dikurangi. Untuk meramalkan kecenderungan pembentukan endapan barium sulfat digunakan metode Templeton. Tabel 1 menunjukkan hasil data kelarutan secara percobaan di laboratorium untuk sistem $BaSO_4-NaCl-H_2O$ pada kondisi temperatur yang berbeda. Selanjutnya, data kelarutan pada tabel tersebut diubah menjadi harga pK_{sp} barium sulfat pada temperatur 77, 122 dan 203°F (lihat Gambar 8). Data inilah yang digunakan sebagai contoh untuk memprediksi kecenderungan presipitasi barium sulfat, ini dapat dijelaskan sebagai berikut:

Problem:

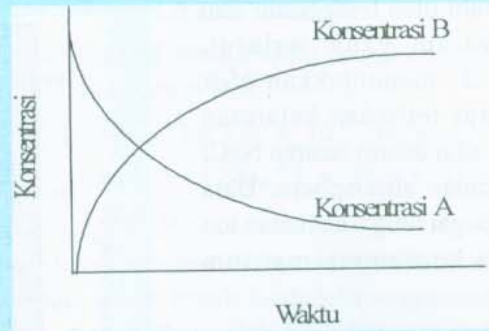
Hitung kelarutan barium sulfat pada 203°F dalam air yang mengandung

Cl mg/l	=	40.000
Ba mg/l	=	11
SO ₄ mg/l	=	120

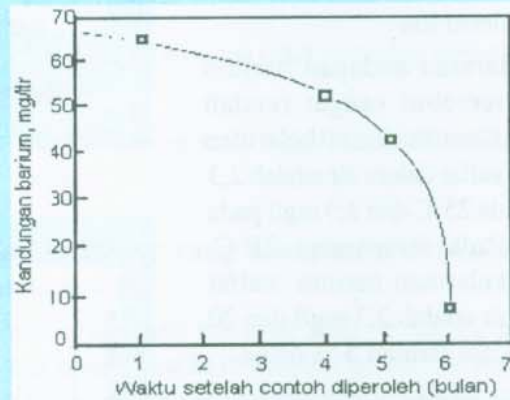
1. Hitung Ksp pada 203°F (Gambar 8)

$$\begin{aligned}
 pK_{sp} &= 7.31 \\
 -\log K_{sp} &= 7.31 = 10 - 2.69 \\
 \log K_{sp} &= 2.69 - 10 \\
 \text{antilog } 2.69 &= 490 \\
 K_{sp} &= 490 \cdot 10^{-10}
 \end{aligned}$$

2. Hitung konsentrasi molar barium dan sulfat yang didapatkan:



Gambar 5
Konsentrasi pereaksi atau hasil reaksi versus waktu



Sumber : Bureau of Mines, 1965

Gambar 6
Efek waktu vs kelarutan BaSO₄



Sumber : Vetter, J.P.T Dec 1975

Gambar 7
Bentuk kristal endapan barium sulfat

$$\begin{aligned} \text{Ba} &= (11 \text{ mg/l}) / (1000 \text{ mg/g} \times 137,36 \text{ g/mol}) \\ &= 0,0000801 \text{ mols/liter} \\ &= 8,01 \times 10^{-5} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{SO}_4 &= (120 \text{ mg/l}) / (1000 \text{ mg/g}) \times 96 \text{ g/mol} \\ &= 0,00125 \text{ mols / liter} \\ &= 1,25 \times 10^{-3} \end{aligned}$$

3. Menentukan Ksp yang dihitung dengan persamaan umum:

$$\begin{aligned} (\text{Ba}^{++} - X) (\text{SO}_4^- - X) \\ = 490 \times 10^{-10} = K_{sp} \end{aligned}$$

di mana :

Ba⁺⁺ = konsentrasi barium yang didapatkan dalam mols/liter.

SO₄⁼ = konsentrasi sulfat yang didapatkan dalam mols/liter.

X = Jumlah Ba, atau SO₄, atau BaSO₄ dalam mols/liter

$$\begin{aligned} (8.01 \times 10^{-5} - X) (1.25 \times 10^{-3} - X) \\ = K_{sp} = 490 \times 10^{-10} \end{aligned}$$

$$(10 \times 10^{-8}) - (0,0801 \times 10^{-3}) X - (1,25 \times 10^{-3}) X + X^2 = 490 \times 10^{-10}$$

$$\begin{aligned} X^2 - (1,3301 \times 10^{-3}) X + 10^{-7} \\ = 490 \times 10^{-10} \\ = 0,49 \times 10^{-7} \end{aligned}$$

$$X^2 - 0,00133 X + 0,511 \times 10^{-7} = 0$$

4. Persamaan kuadrat dapat dipecahkan dengan:

$$X = [- \pm \sqrt{(b^2 - 4ac)}] / 2a$$

5. Mencari X:

$$\begin{aligned} 3,85 \times 10^{-5} \text{ mols/liter} \times 233,42 \\ = \mathbf{8,897 \text{ mg/l}} \end{aligned}$$

endapan barium sulfat yang terbentuk dari air tersebut.

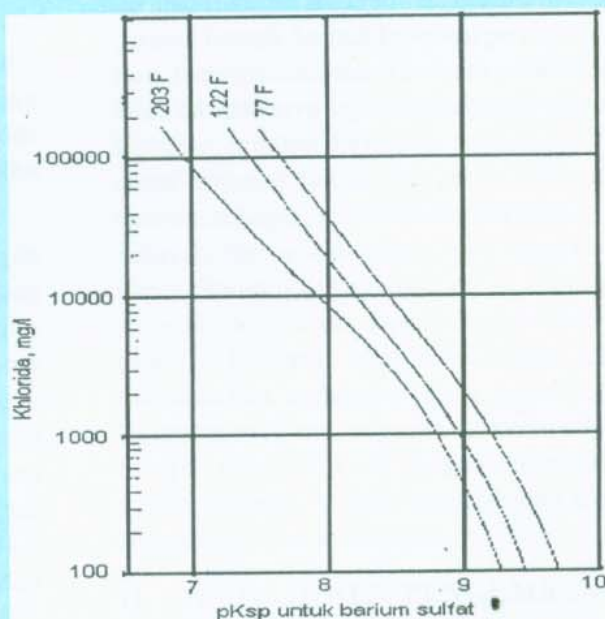
V. PEMBAHASAN HASIL PERHITUNGAN ENDAPAN

Injeksi air pada lapangan minyak seringkali digunakan untuk mempertahankan tekanan dalam reservoir. Dalam hal ini air injeksi (mengandung

Tabel 1
Data kelarutan untuk sistem BaSO₄ - NaCl - H₂O pada variasi temperatur

mNaCl	25° C	35° C	50° C	65° C	80° C	95° C
0.000	1.08	1.25	1.44	1.54	1.62	1.68
0.001	1.28	1.46	1.69	1.83	1.92	1.97
0.005	1.60	1.81	2.10	2.31	2.47	2.55
0.01	1.84	2.08	2.43	2.70	2.90	3.05
0.05	3.02	3.49	4.00	4.37	4.67	4.85
0.1	3.92	4.47	5.20	5.78	6.13	6.3
0.2	5.2	5.8	6.9	7.7	8.4	8.8
0.4	6.7	7.5	8.9	10.3	11.7	12.7
0.6	7.8	8.8	10.5	12.4	14.3	15.8
0.8	8.8	9.8	11.7	14.2	16.3	18.3
1.0	9.6	10.6	12.8	15.5	18.1	20.5
1.5	11.2	12.4	14.9	18.0	21.2	24.9
2.0	12.5	13.8	16.5	19.9	23.7	28.1
2.5	13.5	14.8	17.7	21.2	25.2	30.6
3.0	14.4	15.7	18.7	22.3	26.5	32.8
3.5	15.3	16.6	19.7	23.2	27.7	34.7
4.0	16.1	17.5	20.6	24.1	28.8	36.4
4.5	16.9	18.5	21.4	25.1	29.9	38.0
5.0	17.7	19.4	22.2	26.0	30.9	39.7

Sumber. J. Chem. Eng. Data, Vol. 5, No. 4-0, Oct. 1960.



Sumber : J. Chem. Eng. Data, Vol. 5, No. 40, 1960

Gambar 8
Harga pKsp barium sulfat pada variasi temperatur

ion sulfat) diinjeksikan ke dalam reservoir, bercampur dengan air formasi (mengandung ion barium), dan menghasilkan campuran air yang tidak sesuai (*incompatible water*) berupa endapan barium sulfat. Hasil pencampuran kedua jenis air tersebut menunjukkan tahap-tahap dalam suatu mekanisme pembentukan endapan barium sulfat, yang dimulai dari tahap larutan, supersaturasi, awal pembentukan endapan, pertumbuhan kristal dan terakhir menjadi endapan. Tingkat kelarutan barium sulfat atau besar/kecilnya jumlah endapan yang terbentuk sangat bergantung pada beberapa faktor, antara lain: konsentrasi, komposisi ion-ion dari air formasi dan air injeksi, temperatur dan waktu kontak yang cukup antara air formasi dan air injeksi. Dengan menggunakan metode Templeton dapat diramalkan kecenderungan pembentukan endapan barium sulfat. Contoh hasil perhitungan endapan barium sulfat yang terbentuk dari air tersebut sebesar 8,897 mg/l.

VI. KESIMPULAN

Berdasarkan isi materi penulisan di atas, dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Berpotensi terbentuknya endapan barium sulfat atau tidak, sangat ditentukan oleh faktor konsentrasi dan

komposisi kimiawi ion-ion yang terkandung dalam air formasi (ion barium) dan air injeksi (ion sulfat).

2. Adanya perubahan kondisi, seperti temperatur dan waktu kontak yang cukup antara air formasi dengan air injeksi, sehingga pada batas tertentu menjadi larutan yang lewat jenuh (supersaturasi).
3. Prediksi kecenderungan pembentukan endapan barium sulfat adalah dengan menggunakan metode Templeton.

KEPUSTAKAAN

1. Charles, C.P.: "Oilfield Water System", Campbell Petroleum Series, 1977.
2. Jack, C.C. and Donald.J.W.: " Water Formed Scale Deposits", Gulf Publishing Company, Book Division, Texas, 1976.
3. Templeton, C.C.: "Solubility of Barium Sulfate in Sodium Chloride Solution" from 25°C to 95°C", J.Chem.and Eng. Data, Vol 5, Oct 1960, p.514-516.
4. Weintritt, D: "Unique Characteristics of Barium Sulfate Scale Deposition" J. of Pet. Technology, Oct 1967, p.1381-1394.
5. Vetter, O.J : "How Barium Sulfate is Formed: An Interpretation", J.P.T. Dec. 1975, p.1515-1524. •

