



ISSN: 1693-4393

SEMINAR NASIONAL TEKNIK KIMIA “KEJUANGAN” 2013

*Pengembangan Teknologi Kimia
untuk Pengolahan Sumber Daya
Alam Indonesia*

5 Maret 2013

PROSIDING



**PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UPN “VETERAN” YOGYAKARTA**



Reviewer
Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan" 2013
Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, UPN "Veteran" Yogyakarta

1. Prof. Ir. H. Wahyudi Budi Sediawan, SU, Ph.D (UGM Yogyakarta)
2. Ir. Moh. Fahrurrozi, M.Sc., Ph.D (UGM Yogyakarta)
3. Prof. Dr. Ir. H. Supranto, SU (UPN "Veteran" Yogyakarta)





Analisa Pengujian Kualitas, Kompatibilitas, *Scaling Tendency* dan Mikrobiologi Air Injeksi untuk Penerapan *Waterflooding* di Lapangan Minyak

Dedy Kristanto

Program Studi Teknik Perminyakan, Fakultas Teknologi Mineral, UPN "Veteran" Yogyakarta
Jl. SWK 104 (Lingkar Utara), Condongcatur, Yogyakarta 55283
Email: dedykris@yahoo.com

Abstract

In the oil fields, water that will be used for injection must be tested to avoid formation damage, such as pore throat plugging by suspended particles which contain in the injection water, or rock particles migration and occurring of scale or certain mineral swelling in the rock pore due to contaminant with water injection. The test results through water injection candidate shows has Relative Plugging Index (RPI) about 65.55, then the water injection categories as the poor water for injection fluid and could causing the pore throat plugging in the reservoir. Test results using quartz sand with 20/40 mesh and 40/60 mesh, shows that the quality of injection water could be increased from Poor to become Good condition. The compatibility test between water injection and formation water, shows that the form of suspended solid particles occur on the mixing of 25% injection water with 75% formation water, hence the water injection is compatible with formation water and could be used as injection fluid to these reservoir. Based on Scaling Index (SI) parameter, shows that injection water has tendency to form CaCO_3 scale, both for surface and reservoir temperature conditions. While, for scale of CaSO_4 , BaSO_4 , and SrSO_4 , there are not formed. Furthermore, based on the result of microbiology analysis, shows that the population of SRB (Sulfate Reducing Bacteria) contains in the water injection are very small, meaning that there is no effect on the water injection at the surface.

Keywords: *Waterflooding, Injection Water Quality, Compatibility, Scaling Tendency, Microbiology.*

PENDAHULUAN

Penggunaan injeksi air ke dalam reservoir di lapangan minyak, bertujuan untuk mempertahankan tekanan reservoir (*pressure maintenance*) dan untuk proses pendesakan minyak (*waterflooding*) agar dapat meningkatkan perolehan minyak (*oil recovery*). Selain itu juga untuk penanganan terhadap limbah air terproduksi agar tidak menimbulkan pencemaran terhadap lingkungan akibat kandungan logam-logam berat yang terkandung didalamnya.

Untuk tujuan tersebut maka kualitas air yang akan diinjeksikan terlebih dahulu perlu dilakukan pengujian agar tidak menimbulkan kerusakan pada formasi (*formation damage*). Kerusakan formasi yang ditimbulkan dapat berupa penyumbatan terhadap rongga antar butir (*pore throat*) oleh partikel tersuspensi yang terkandung dalam air injeksi atau akibat migrasi dari partikel halus yang ada dibatuan. Ketidakesesuaian antara air yang akan diinjeksikan dengan fluida dan batuan reservoirnya dapat juga menyebabkan kerusakan formasi karena terjadinya pembentukan padatan (*scale*) atau pengembangan mineral tertentu di dalam pori batuan akibat berkontaminasi dengan air injeksi.

Dalam mempersiapkan perencanaan kemungkinan penggunaan injeksi air untuk meningkatkan perolehan minyak di Lapangan Semanggi, maka analisa air untuk injeksi dan air formasi adalah merupakan hal yang sangat penting untuk dilakukan. Analisa laboratorium terhadap fluida untuk proses injeksi air ini telah dilaksanakan di Laboratorium Analisa Fluida Reservoir Prodi Teknik Perminyakan UPN "Veteran" Yogyakarta dan Laboratorium PPTMGB "LEMIGAS" Jakarta.

Pengujian laboratorium yang diperlukan terhadap fluida untuk menganalisa kualitas dan kompatibilitas air injeksi agar dapat dipergunakan sebagai air yang akan diinjeksikan ke dalam reservoir ini meliputi :

- Kualitas air injeksi
- Kompatibilitas air injeksi terhadap air formasi dan batuan formasi
- Analisa kimia untuk menganalisa tingkat *scaling tendency* dari air injeksi
- Analisa Mikrobiologi (populasi dan jenis mikroba serta pertumbuhannya)

Untuk keperluan pengujian di laboratorium tentang analisa kualitas dan kompatibilitas air injeksi agar nantinya dapat dipergunakan sebagai air yang akan diinjeksikan ke dalam reservoir, maka diambil dua contoh fluida yaitu air injeksi dari separator di stasiun pengumpul dan air formasi yang diambil dari *well head* Sumur SMG-86 Lapangan Semanggi.





JENIS DAN METODE PENGUJIAN

Pengujian laboratorium yang diperlukan terhadap fluida untuk mempelajari kualitas dan kompatibilitas air injeksi agar dapat dipergunakan sebagai air yang akan diinjeksikan ke dalam reservoir ini meliputi : Kualitas air injeksi; Kompatibilitas air injeksi terhadap air formasi dan batuan formasi; Analisa kimia untuk mempelajari tingkat scaling tendency dari air injeksi; dan Analisa Mikrobiologi (populasi dan jenis mikroba serta pertumbuhannya).

Kualitas Air Injeksi

Di dalam melaksanakan analisa kualitas air injeksi dilakukan berdasarkan N.A.C.E. Standard TM-01-73. Pengujian dilakukan dengan mengalirkan sejumlah tertentu air injeksi melewati suatu membran filter (0,45 mikron) pada tekanan tetap sebesar 200 psig. Kecepatan aliran untuk interval volume yang telah ditentukan kemudian dicatat. Dari data hasil pengetesan ini dapat dihitung besaran *Millipore Test Slope Number* (MTSN) sebagai berikut :

$$MTSN = \frac{\log \left(\frac{Q_a}{Q_b} \right) (2500)}{V_a - V_b} \quad (1)$$

Keterangan :

- V_a , ml : Banyaknya volume kumulatif fluida yang telah melewati membran filter pada saat Q_a
 V_b , ml : Banyaknya volume kumulatif fluida yang telah melewati membran filter pada saat Q_b
 Q_a , ml/sec : Kecepatan mengalirnya sejumlah volume tertentu fluida sehingga volume kumulatif yang telah melewati membran adalah sebanyak V_a (ml)
 Q_b , ml/sec : Kecepatan mengalirnya sejumlah volume tertentu fluida yang terakhir (sama seperti pada Q_a) sehingga volume kumulatif yang telah melewati membran adalah sebanyak V_b (ml)

Sedangkan RPI (*Relative Plugging Index*) didefinisikan sebagai kualitas relatif air injeksi dan diperoleh sebagai hasil pengurangan total padatan tersuspensi (TSS) dengan MTSN dari contoh air injeksi yang sama. Padatan melayang (*Suspended solid*) adalah substansi bukan air yang tidak terlarut dan terdapat didalam tubuh air. Yang biasanya termasuk dalam padatan melayang disini adalah oksida dan sulfida besi, endapan karbonat dan sulfat, pasir dan lanau, minyak dan parafin serta material yang berasal dari mahluk hidup. Padatan melayang dapat juga dianggap sebagai material yang berada didalam air yang mengakibatkan kebuntuan dan kehilangan injektivitas pada sumur-sumur injeksi.

$$RPI = TSS - MTSN \quad (2)$$

Karena MTSN selalu mempunyai harga negatif, maka RPI yang dihasilkan adalah merupakan penjumlahan antara TSS dengan MTSN. Harga RPI ini mengkategorikan secara umum kualitas air injeksi seperti tercantum dalam Tabel 1.

Tabel 1. Klasifikasi Kualitas Air Injeksi Didasarkan pada Harga RPI (N.A.C.E. Standard TM-01-73)

RPI	Kualitas	Keterangan
< 3	Excellent	Air sesuai untuk semua formasi
3 - 10	Good - Fair	Good - Fair
10 - 15	Questionable	Padatan di air dapat menyumbat, perlu penyaringan
> 15	Poor	Air dapat digunakan untuk injeksi, namun perlu penjernihan.

Kualitas dari air yang akan diinjeksikan sangat bergantung dari partikel tersuspensi yang terkandung dalam air injeksi, kualitas dari air injeksi ini dapat diperbaiki (dapat ditingkatkan) dengan melakukan penyaringan terlebih dahulu. Pada pengujian perbaikan kualitas air injeksi di Lapangan Semanggi ini dilakukan dengan penyaringan menggunakan pasir kuarsa ukuran 20/40 mesh dan 40/60 mesh.

Pengujian laju terhadap volume kumulatif (*Rate Vs Cumulative Volume*)

- Metode ini dilakukan dengan melalukan air dengan jumlah tertentu melalui suatu saringan membran (*membrane filter*) di bawah tekanan yang konstan dan mengukur laju aliran serta volume kumulatif pada beberapa interval.
- Pengujian ini dibuat untuk memonitor kualitas air injeksi. Plot laju aliran terhadap volume kumulatif dapat memberikan indikasi secara umum mengenai kualitas air injeksi.

Pengujian padatan melayang (*Suspended Solid Test*)

- Mencakup pengambilan percontoh dari padatan melayang yang utama yang terdapat dalam sistim. Padatan melayang yang terdapat pada beberapa liter percontoh diambil dan dilalukan melalui saringan membran sehingga didapatkan percontoh yang lebih besar dan mewakili dibanding yang didapatkan dari percontoh botol.
- Metode ini merupakan metode yang sederhana untuk mendapatkan percontoh padatan melayang yang berguna dalam penanganan air injeksi. Kuantitas padatan dapat ditentukan selain komposisinya.





Kompatibilitas Air Injeksi Terhadap Air Formasi

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui terbentuk tidaknya endapan hasil pencampuran antara air formasi dengan kandidat air yang akan diinjeksikan pada kondisi tekanan dan temperatur reservoir. Ada 2 (dua) jenis komposisi air yang dianalisa dari Lapangan Semanggi, yaitu Air Formasi (diambil dari Well Head) dan Air Injeksi (diambil dari Separator di SP).

Pengujian dilakukan dengan mencampur antara air injeksi dengan air formasi pada perbandingan komposisi yang telah ditentukan, kemudian dikondisikan selama 24 jam pada temperatur reservoir. Untuk dapat mengetahui pengaruh dari pengkondisian, maka dilakukan pengamatan terhadap 2 (dua) sistem pengkondisian yaitu pengkondisian secara dinamik menggunakan *hot roll oven* dan pengkondisian secara statik menggunakan *water bath*. Perbandingan pencampuran yang dilakukan untuk analisa sampel adalah sebagai berikut :

Air Formasi :	0%	25%	50%	75%	100%
Air Injeksi :	100%	75%	50%	25%	0%

Endapan terbentuk adalah merupakan endapan yang terjadi akibat dari pengkondisian kembali ke kondisi temperatur reservoir dari air formasi, air injeksi atau pencampuran dari keduanya dengan proporsi yang telah ditentukan. Sedangkan endapan proposional adalah berat endapan yang terbentuk akibat pengkondisian kembali ke temperatur reservoir dari air formasi dan air injeksi 100%, dimana endapan ini merupakan endapan yang seharusnya tidak terbentuk, pembagian besar endapan secara proposional akan dibuat sesuai dengan prosentase komposisi campuran yang dibuat. Bila berat endapan suatu komposisi campuran tertentu melebihi berat endapan proposional maka dikatakan campuran tersebut tidak kompatibel. Sedangkan bila berat endapan kurang atau sama dengan berat proposionalnya maka dikatakan campuran tersebut kompatibel.

Analisa Kimia Air Injeksi dan Air Formasi

Analisa kimia terhadap sampel air injeksi dan air formasi dilakukan dengan menggunakan peralatan titrasi, ICP-OES (*Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometer*), *Spectrophotometer Hach 2000* dan peralatan standard lainnya. Analisa anion dilakukan dengan cara mentitrasi sampel air sesuai dengan yang ada pada prosedur API RP 45. Sedangkan analisa kation dilakukan dengan menggunakan alat ICP dimana standard kalibrasinya menggunakan larutan standard dari Marck.

Untuk pengukuran-pengukuran lain seperti TDS (*Total Disolved Solid*), DO (*Disolved Oksigen*), *Resistivity*, *Salinity*, *Conductivity*, dan *Turbidity* dilakukan menggunakan peralatan *Spectriphotometer Hach 2000* dan peralatan standard lainnya. Analisa terhadap kemungkinan pembentukan scale CaCO_3 dan CaSO_4 dihitung dengan prosedur yang dikembangkan oleh C. C. Patton.

Analisa Kecenderungan Pembentukan Scale

Analisa tingkat kecenderungan pembentukan Scale CaCO_3 dan tingkat kelarutan CaSO_4 dari air injeksi maupun setelah bercampur dengan air formasi dihitung menggunakan persamaan dari Stiff and Davis sebagai berikut :

$$SI = pH - pH_s \quad (3)$$

pH merupakan pH sebenarnya dari fluida pada saat diukur, sedangkan pH_s adalah pH pada sistem fluida dimana seolah-olah konsentrasi CaCO_3 sudah dalam kondisi saturasi (tingkat kejenuhan). Besarnya pH_s adalah sebagai berikut :

$$pH_s = K + pCa + pAlk \quad (4)$$

sehingga persamaannya menjadi :

$$SI = pH - K - pCa - pAlk \quad (5)$$

Keterangan :

SI adalah *Stability Index*, Jika SI berharga negatif menunjukkan air dalam kondisi tidak jenuh oleh ion yang dapat membentuk endapan CaCO_3 sehingga kecenderungan untuk membentuk scale CaCO_3 tidak ada. Bila SI berharga positif maka kecenderungan untuk terbentuknya scale CaCO_3 sangat dimungkinkan.

pH adalah pH dari air sesuai dengan temperatur pengujian.

K adalah konstanta yang merupakan fungsi dari salinity, temperatur dan komposisi dari ion-ion yang terkandung dalam air. Harga K didapat dari grafik hubungan antara *ionic strength* dan temperatur.

Sedang *ionic strength* (μ) merupakan :

$$\mu = \frac{1}{2} (C_1 Z_1^2 + C_2 Z_2^2 + C_3 Z_3^2 + \dots + C_n Z_n^2)$$

C = konsentrasi dari ion-ion dalam air, moles/liter

Z = valensi dari ion





$$pCa = \log \frac{1}{\text{MolesCa}^{++} / \text{liter}} \quad (6)$$

$$pAlk = \log \frac{1}{\text{Equivalentstotalalkalinity} / \text{liter}} \quad (7)$$

$$\text{Total Alkalinity} = \text{CO}_3^{=} + \text{HCO}_3^{-} \quad (8)$$

Nilai kelarutan dari senyawa CaSO_4 , BaSO_4 , dan SrSO_4 pada suatu fluida dapat dihitung dengan menggunakan persamaan, bilamana nilai K_{sp} dari tiap-tiap senyawanya diketahui. Persamaan yang digunakan untuk menghitung nilai kelarutan (S) adalah :

$$\text{Solubility (meq/L)} = 1000 [(X^2 + 4 K_{sp})^{1/2} - X] \quad (9)$$

Dalam suatu fluida dapat dikatakan bahwa konsentrasi sebenarnya dari senyawa CaSO_4 , BaSO_4 , dan SrSO_4 adalah setara dengan konsentrasi terkecil dari ion Ca^{++} atau $\text{SO}_4^{=}$ untuk CaSO_4 , Ba^{++} atau $\text{SO}_4^{=}$ untuk BaSO_4 , dan Sr^{++} atau $\text{SO}_4^{=}$ untuk SrSO_4 (dalam meq/l) yang terkandung dalam suatu fluida. Kecenderungan untuk terbentuknya endapan atau scale CaSO_4 , BaSO_4 , dan SrSO_4 dapat dilihat dari :

- Bila nilai kelarutan (S) sama dengan konsentrasi sebenarnya dari konsentrasi terkecil ion Ca^{++} , Ba^{++} , Sr^{++} atau $\text{SO}_4^{=}$ (dalam meq/l) dapat dikatakan bahwa fluida dalam kondisi kesetimbangan.
- Bila nilai kelarutan (S) lebih kecil dari konsentrasi sebenarnya, maka dapat dikatakan fluida dalam kondisi jenuh dan memungkinkan untuk terbentuknya scale.
- Sebaliknya bila nilai kelarutan (S) lebih besar dari konsentrasi sebenarnya, maka kondisi fluida tidak memungkinkan untuk terjadinya scale.

Analisa Mikrobiologi

Aktivitas mikroba pada umumnya akan menghasilkan senyawa intraseluler dan ekstraseluler. Adanya senyawa ekstraseluler dapat mempengaruhi lingkungan dimana mikroba itu berada. Senyawa yang dihasilkan oleh mikroba tergantung pada jenis serta lingkungannya. Dilingkungan gas dan minyak bumi mikroba-mikroba tersebut dapat menghasilkan berbagai bahan diantaranya gas CO_2 , yang dapat berfungsi positif yaitu membantu mendorong minyak, selain itu mikroba juga dapat menghasilkan asam yang dapat menaikkan porositas batuan, tetapi gas CO_2 dan asam yang dihasilkan mikroba dapat berakibat negatif yaitu dapat menyebabkan korosi pada peralatan. Mikroba juga dapat menghasilkan Biosurfaktan, Biopolimer, dan Biomassa. Biosurfaktan dan Biomassa dapat dimanfaatkan untuk membantu pengurusan (EOR), sedangkan Biomassa adalah merupakan kumpulan sel-sel mikroba yang dapat menyumbat baik reservoir maupun sistim perpipaan. Metode yang digunakan untuk melakukan analisa mikrobiologi pada sampel air injeksi adalah *Sulfate Reducing Bacteria* - SRB (*General Insignificant*), serta Bacteria dan Fungi (*Aerobic Plate Count*).

HASIL PENGUJIAN DAN ANALISA

Hasil Pengujian Kualitas Air Injeksi

Pengujian yang dilakukan terhadap kualitas air injeksi baik sebelum dilakukan penyaringan menggunakan pasir kuarsa maupun yang telah dilakukan penyaringan dengan pasir kuarsa ukuran 20/40 mesh dan 40/60 mesh, diperoleh hasil seperti ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian Kualitas Air Injeksi untuk Lapangan Semanggi (N.A.C.E. Standard TM-01-73)

No	Sampel	MTSN	TSS	RPI
1.	Air Injeksi dari Lapangan	- 15,36	50,21	65,55
2.	Air Injeksi Setelah disaring dengan pasir kuarsa ukuran 20/40 mesh	- 4,83	7,17	11,87
3.	Air Injeksi Setelah disaring dengan pasir kuarsa ukuran 40/60 mesh	- 4,57	6,37	10,64

Catatan : MTSN = Millipore Test Slope Number; TSS = Total Suspended Solid; RPI = Relative Plugging Index

Hasil pengujian terhadap kualitas air injeksi yang berasal dari Lapangan Semanggi dapat dikategorikan poor (jelek), sehingga air injeksi tersebut sebelum digunakan perlu dilakukan penyaringan terlebih dahulu untuk dapat memperbaiki kualitas dari air injeksi. Dari hasil pengujian dengan menggunakan alat saring yaitu pasir kuarsa ukuran 20/40 mesh maupun 40/60 mesh ternyata dapat meningkatkan kualitas air injeksi dari *Poor* menjadi *Questionable* bahkan mendekati kearah *Good*. Hal ini membuktikan bahwa pada air injeksi tersebut banyak terdapat partikel tersuspensi yang menyebabkan kualitas air injeksi ini menjadi jelek dan bisa menyebabkan penyumbatan (*plugging*). Walaupun demikian dalam pelaksanaannya akan sangat bergantung pada kondisi petrofisika dari formasi yang diinjeksi.





Kualitas air injeksi adalah suatu ukuran mutu dari air apabila akan digunakan sebagai air yang diinjeksikan kedalam reservoir dengan melihat pengaruh dari partikel padat tersuspensi yang terdapat dalam air. Kualitas air dikatakan baik apabila injeksi dari air tidak mengalami hambatan oleh partikel padat tersuspensi didalamnya. Sedangkan apabila sebaliknya maka dikatakan kualitas air tersebut tidak baik. Oleh karena itu kualitas dari air injeksi ditentukan oleh konsentrasi, sifat padatan serta distribusi ukuran dari padatan yang tersuspensi didalam air injeksi yang dirumuskan dalam *Relative Plugging Index* (RPI).

Hasil pengujian terhadap kandidat air injeksi memperlihatkan bahwa besarnya harga MTSN sebesar -15,36 dan TSS sebesar 50,21 mg/l sehingga RPI yang dihasilkan adalah sebesar 65,55. Dari besarnya harga RPI maka air injeksi dikategorikan sebagai air yang tidak baik (jelek) untuk digunakan sebagai air injeksi dan dapat menyebabkan penyumbatan pada pore throat batuan. Jeleknya kualitas dari air injeksi ini didominasi oleh distribusi ukuran partikel yang ada pada air injeksi.

Bukti dari adanya pengaruh partikel padatan terhadap hasil kualitas air injeksi (RPI) adalah dari pengujian terhadap air injeksi yang telah dilakukan penyaringan menggunakan pasir kuarsa ukuran 20/40 mesh dan 40/60 mesh. Dari hasil pengujian memperlihatkan bahwa harga RPI menjadi turun dratis yaitu 11,87 setelah air disaring dengan menggunakan pasir kuarsa ukuran 20/40 mesh dan 10,64 untuk 40/60 mesh. Sehingga berdasarkan hasil tersebut maka disarankan agar air terproduksi sebelum digunakan sebagai air injeksi sebaiknya terlebih dahulu dilakukan penyaringan.

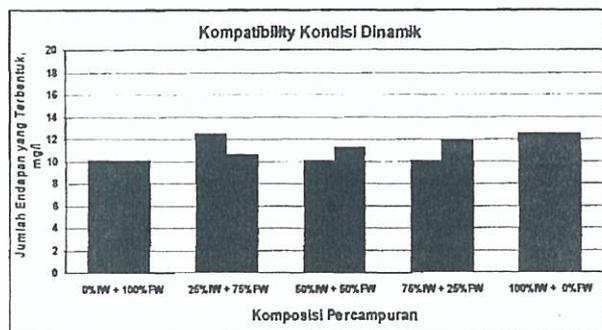
Hasil Pengujian Kompatibilitas Air Injeksi Terhadap Air Formasi

Pengujian yang dilakukan terhadap kompatibilitas antara air injeksi dengan air formasi memperlihatkan bahwa pengkondisi secara dinamik maupun statik memberikan kecenderungan harga yang sama tentang jumlah endapan yang terbentuk dengan endapan proposional yang didapat. Pada kedua jenis pengkondisian yang dilakukan, terlihat bahwa terbentuknya endapan yang paling banyak adalah pada percampuran antara 25% air injeksi dengan 75% air formasi, akan tetapi semakin banyak air injeksi yang bercampur dengan air formasi pembentukan endapan menjadi semakin sedikit (bila dibandingkan dengan endapan proposional, maka endapannya menjadi tidak ada). Dari hasil pengujian dapat dikatakan bahwa air injeksi kompatibel dengan air formasi dan dapat digunakan sebagai air injeksi di formasi tersebut.

Hasil pengujian di laboratorium terhadap kompatibilitas antara kandidat air injeksi dengan air terproduksi (air formasi), seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 3** dan **Gambar 1** untuk pengujian yang dilakukan secara dinamik serta **Tabel 4** dan **Gambar 2** untuk pengujian yang dilakukan secara statik, memperlihatkan banyaknya endapan yang terbentuk pada masing-masing komposisi campuran serta proporsi endapan yang diharapkan. Bila selisih berat endapan yang terbentuk dikurangi proporsi endapan yang diharapkan memberikan harga negatif, menunjukkan bahwa campuran antara air injeksi dengan air formasi kompatibel. Demikian juga dengan sebaliknya bila memberikan harga positif maka dapat dikatakan campuran tidak kompatibel. Kompatibel disini menggambarkan pembentukan endapan padatan akibat reaksi kimia yang terjadi pada pencampuran antara air injeksi dan air formasi.

Tabel 3. Hasil Pengujian Kompatibilitas Secara Dinamik Air Formasi dengan Air Injeksi pada Temperatur 145 °F

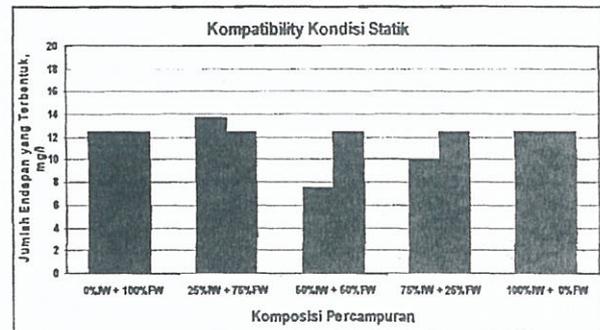
No	Sampel Air Injeksi + Air Formasi	Compatibility mg/ft	Endapan Proporsional mg/ft	Keterangan
1	0% IW + 100% FW	10.01	10.01	
2	25% IW + 75% FW	12.51	10.64	Tidak Kompatibel
3	50% IW + 50% FW	10.01	11.26	Kompatibel
4	75% IW + 25% FW	10.01	11.87	Kompatibel
5	100% IW + 0% FW	12.51	12.51	



Gambar 1. Hubungan antara Jumlah Endapan yang Terbentuk terhadap Komposisi Campuran pada Kondisi Dinamik

Tabel 4. Hasil Pengujian Kompatibilitas Secara Statik Air Formasi dengan Air Injeksi pada Temperatur 145 °F

No	Sampel Air Injeksi + Air Formasi	Compatibility mg/ft	Endapan Proporsional mg/ft	Keterangan
1	0% IW + 100% FW	12.51	12.51	
2	25% IW + 75% FW	13.76	12.51	Tidak Kompatibel
3	50% IW + 50% FW	7.51	12.51	Kompatibel
4	75% IW + 25% FW	10.01	12.51	Kompatibel
5	100% IW + 0% FW	12.51	12.51	



Gambar 2. Hubungan antara Jumlah Endapan yang Terbentuk terhadap Komposisi Campuran pada Kondisi Statik



Hasil pengujian yang dilakukan tersebut memperlihatkan bahwa pembentukan endapan terjadi pada konsentrasi pencampuran 25% air injeksi dan 75% air formasi dengan total endapan yang terbentuk sebesar 2,50 mg/l, bila pencampuran dikondisikan dalam keadaan dinamik. Sedangkan untuk kondisi statik banyaknya pembentukan endapan adalah sebesar 1,25 mg/l yang terjadi juga pada konsentrasi pencampuran yang sama. Berdasarkan hasil tersebut di atas, maka secara umum dapat dikatakan bahwa percampuran antara kandidat air injeksi dengan air formasi yang akan dilakukan untuk proses penginjeksian air di Lapangan Semanggi adalah kompatibel.

Hasil Pengujian Analisa Kimia Air Injeksi dan Air Formasi

Analisa kimia terhadap sampel air injeksi dan air formasi dilakukan dengan menggunakan peralatan titrasi, ICP-OES (*Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometer*), Spectrophotometer Hach 2000 dan peralatan standard lainnya. Dari pengujian yang dilakukan didapatkan hasil analisa kimia dari kedua sampel air seperti ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Pengujian Analisa Kimia Air Formasi dan Air Injeksi

Parameter	Satuan	Hasil Pengujian	
		Air Formasi	Air Injeksi
Cation :			
Sodium (Na)	mg/l	2468,00	2513,00
Calcium (Ca)	mg/l	25,21	25,51
Magnesium (Mg)	mg/l	21,99	23,51
Barium (Ba)	mg/l	0,3541	0,37
Iron (Fe)	mg/l	0,056	0,16
Anion :			
Chloride (Cl)	mg/l	7904,00	7911,00
Sulfate (SO ₄)	mg/l	17,86	15,40
Carbonate (CO ₃)	mg/l	151,00	206,76
Bikarbonat (HCO ₃)	mg/l	2352,12	2316,64
Others :			
Specific Gravity @ 60 °F	-	1,010	1,011
pH @ 77 °F	-	8,5	8,6
Salinity	‰	10,57	9,44
Conductivity	µs/cm	17,96	17,25
TDS (Total Dissolved Solids)	mg/l	10202,00	9589,00
TSS (Total Suspended Solid)	mg/l	25,20	50,19
Turbidity	FTU	25,50	36,50
Resistivity (ohm-meter)	Ω meter	0,44 @ 79 °F	0,41 @ 79 °F
DO (Dissolved Oxygen)	mg/l	6,06	3,96

Hasil Pengujian Analisa Tingkat Kecenderungan Pembentukan Scale

Hasil perhitungan tingkat kecenderungan Scale CaCO₃, CaSO₄, BaSO₄, dan SrSO₄ pada air injeksi ditunjukkan pada Tabel 6 dan Tabel 7. Dari hasil pengujian pada Tabel 6 memperlihatkan bahwa air injeksi mempunyai kecenderungan untuk membentuk scale CaCO₃, baik pada kondisi temperatur permukaan maupun pada temperatur reservoir. Hasil pengujian pada Tabel 7 memperlihatkan bahwa air injeksi tidak mempunyai kecenderungan untuk membentuk scale CaSO₄, BaSO₄ dan SrSO₄ baik pada kondisi temperatur permukaan maupun pada kondisi temperatur reservoir. Perhitungan juga dilakukan untuk analisa kemungkinan terjadinya pembentukan scale CaCO₃, CaSO₄, BaSO₄, dan SrSO₄ dari hasil pencampuran antara air injeksi dengan air formasi.

Tabel 6. Tingkat Kecenderungan Pembentukan Scale CaCO₃ dari Air Injeksi

Parameter	Satuan	Hasil	Keterangan
pH @ 77 °F	-	8,6	-
pH @ 145 °F	-	8,65	-
u (Total Ionic Strength)	-	0,1965	-
K @ Temp Permukaan	mg/l	275	-
K @ Temp Reservoir	mg/l	1861	-
pCa	mg/l	3,19	-
pAlk	mg/l	1,38	-
SI @ 77 °F	-	1,21	Ada kecenderungan
SI @ 145 °F	-	2,21	Ada kecenderungan

Tabel 7. Tingkat Kecenderungan Pembentukan Scale CaSO₄, BaSO₄, dan SrSO₄ dari Air Injeksi

Parameter	Satuan	Hasil Analisa		
		CaSO ₄	BaSO ₄	SrSO ₄
u (Total Ionic Strength)	-	0,1965	0,1965	0,1965
K @ 77 °F	-	5,09 x 10 ⁻²⁴	1,75 x 10 ⁻²⁴	3,90 x 10 ⁻²⁴
K @ 145 °F	-	5,08 x 10 ⁻²⁴	5,00 x 10 ⁻²⁴	2,60 x 10 ⁻²⁴
Tingkat Kelarutan @ 77 °F	mg/l	44,65	0,0208	3,4774
Tingkat Kelarutan @ 145 °F	mg/l	44,81	0,0541	3,0695
Konsentrasi Sebenarnya	mg/l	0,3208	0,0064	0,0022
Keterangan	-	Tidak Terbentuk	Tidak Terbentuk	Tidak Terbentuk

Dari hasil pengujian pada Tabel 8, memperlihatkan bahwa percampuran antara air injeksi dan air formasi mempunyai kecenderungan untuk membentuk scale CaCO₃, baik pada kondisi temperatur permukaan maupun pada temperatur reservoir. Selanjutnya dari hasil pengujian pada Tabel 9, memperlihatkan bahwa percampuran antara air injeksi dan air formasi tidak mempunyai kecenderungan untuk membentuk scale CaSO₄ baik pada kondisi





temperatur permukaan maupun pada kondisi temperatur reservoir. Sedangkan hasil pengujian seperti ditunjukkan pada **Tabel 10** dan **Tabel 11**, memperlihatkan bahwa percampuran antara air injeksi dan air formasi tidak mempunyai kecenderungan untuk membentuk scale $BaSO_4$ dan scale $SrSO_4$ baik pada kondisi temperatur permukaan maupun pada kondisi temperatur reservoir.

Tabel 8. Tingkat Kecenderungan Pembentukan Scale $CaCO_3$ dari Percampuran Antara Air Injeksi dan Air Formasi

Parameter	Satuan	Hasil Analisa				
		100 % Air Injeksi	75 % AI 25 % AF	50 % AI 50 % AF	25 % AI 75 % AF	100 % Air Formasi
pH @ 27 °F	-	8,5	8,55	8,55	8,53	8,54
pH @ 145 °F	-	8,65	8,4	8,55	8,54	8,57
μ (Total Ion: Strong)	-	0,1855	0,1851	0,1848	0,1842	0,1841
K @ Temp Permulaan	mg/l	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75
K @ Temp Reservoir	mg/l	1,851	1,858	1,858	1,852	1,852
Ca	mg/l	3,19	3,19	3,19	3,19	3,19
Alk	mg/l	1,35	1,35	1,35	1,35	1,37
Si @ 27 °F	-	1,25	1,24	1,22	1,22	1,22
Si @ 145 °F	-	2,21	2,17	2,15	2,14	2,15

Keterangan : AI : Air Injeksi dan AF : Air Formasi

Tabel 10. Tingkat Kecenderungan Pembentukan Scale $BaSO_4$ dari Percampuran Antara Air Injeksi dan Air Formasi

Parameter	Satuan	Analisa Tingkat Kecenderungan Terbentuknya Scale $BaSO_4$				
		100 % Air Injeksi	75 % AI 25 % AF	50 % AI 50 % AF	25 % AI 75 % AF	100 % Air Formasi
μ (Total Ion: Strong)	-	0,1855	0,1851	0,1848	0,1844	0,1841
K @ 27 °F	-	$1,75 \times 10^{-23}$	$1,75 \times 10^{-23}$	$1,75 \times 10^{-23}$	$1,75 \times 10^{-23}$	$1,75 \times 10^{-23}$
K @ 145 °F	-	$5,00 \times 10^{-23}$	$5,00 \times 10^{-23}$	$5,00 \times 10^{-23}$	$5,00 \times 10^{-23}$	$5,00 \times 10^{-23}$
Tingkat Keharutan @ 27 °F	mg/l	0,0205	0,0201	0,0194	0,0188	0,0182
Tingkat Keharutan @ 145 °F	mg/l	0,0341	0,0325	0,0310	0,0298	0,0282
Konsentrasi Sulfatnya	mg/l	0,0034	0,0035	0,0035	0,0034	0,0034
Keterangan	-	Tidak Terbentuk	Tidak Terbentuk	Tidak Terbentuk	Tidak Terbentuk	Tidak Terbentuk

Keterangan : AI : Air Injeksi dan AF : Air Formasi

Tabel 9. Tingkat Kecenderungan Pembentukan Scale $CaSO_4$ dari Percampuran Antara Air Injeksi dan Air Formasi

Parameter	Satuan	Analisa Tingkat Kecenderungan Terbentuknya Scale $CaSO_4$				
		100 % Air Injeksi	75 % AI 25 % AF	50 % AI 50 % AF	25 % AI 75 % AF	100 % Air Formasi
μ (Total Ion: Strong)	-	0,1855	0,1851	0,1848	0,1844	0,1841
K @ 27 °F	-	$5,09 \times 10^{-24}$	$5,09 \times 10^{-24}$	$5,09 \times 10^{-24}$	$5,09 \times 10^{-24}$	$5,09 \times 10^{-24}$
K @ 145 °F	-	$5,05 \times 10^{-24}$	$5,05 \times 10^{-24}$	$5,05 \times 10^{-24}$	$5,05 \times 10^{-24}$	$4,98 \times 10^{-24}$
Tingkat Keharutan @ 27 °F	mg/l	44,65	44,65	44,65	44,65	44,55
Tingkat Keharutan @ 145 °F	mg/l	44,61	44,62	44,62	44,62	44,51
Konsentrasi Sulfatnya	mg/l	0,3308	0,3336	0,3485	0,3493	0,3721
Keterangan	-	Tidak Terbentuk	Tidak Terbentuk	Tidak Terbentuk	Tidak Terbentuk	Tidak Terbentuk

Keterangan : AI : Air Injeksi dan AF : Air Formasi

Tabel 11. Tingkat Kecenderungan Pembentukan Scale $SrSO_4$ dari Percampuran Antara Air Injeksi dan Air Formasi

Parameter	Satuan	Analisa Tingkat Kecenderungan Terbentuknya Scale $SrSO_4$				
		100 % Air Injeksi	75 % AI 25 % AF	50 % AI 50 % AF	25 % AI 75 % AF	100 % Air Formasi
μ (Total Ion: Strong)	-	0,1855	0,1851	0,1848	0,1844	0,1841
K @ 27 °F	-	$3,50 \times 10^{-23}$	$3,50 \times 10^{-23}$	$3,50 \times 10^{-23}$	$3,50 \times 10^{-23}$	$3,50 \times 10^{-23}$
K @ 145 °F	-	$2,40 \times 10^{-23}$	$2,40 \times 10^{-23}$	$2,40 \times 10^{-23}$	$2,40 \times 10^{-23}$	$2,40 \times 10^{-23}$
Tingkat Keharutan @ 27 °F	mg/l	3,4774	3,4712	3,4650	3,4588	3,4526
Tingkat Keharutan @ 145 °F	mg/l	3,0495	3,0434	3,0372	3,0310	3,0248
Konsentrasi Sulfatnya	mg/l	0,0022	0,0020	0,0018	0,0016	0,0014
Keterangan	-	Tidak Terbentuk	Tidak Terbentuk	Tidak Terbentuk	Tidak Terbentuk	Tidak Terbentuk

Keterangan : AI : Air Injeksi dan AF : Air Formasi

Sehingga secara umum, didasarkan pada hasil analisa kimia dan kecenderungan terbentuknya scale seperti telah ditunjukkan pada **Tabel 8** sampai dengan **Tabel 11**, menggambarkan bahwa hanya scale $CaCO_3$ yang memiliki kecenderungan untuk terbentuk. Sedangkan kemungkinan pembentukan scale $CaSO_4$, $BaSO_4$, dan $SrSO_4$ tidak memiliki kecenderungan karena nilai kelarutannya masih diatas konsentrasi ion-ion pembentuk scale yang terdapat pada air injeksi maupun air pencampuran. Tingkat kecenderungan pembentukan scale $CaCO_3$ akan semakin tinggi apabila air dikondisikan pada temperatur reservoir, sehingga disarankan untuk menambahkan inhibitor scale $CaCO_3$ sebelum air injeksi dimasukkan kedalam sumur. Jenis inhibitor yang disarankan adalah inhibitor yang hanya akan menaikkan tingkat kelarutan sehingga nilai SI menjadi lebih kecil. Bukan scale inhibitor yang sering digunakan untuk mencegah pembentukan scale di peralatan, karena sifat dari inhibitorynya bukan hanya menurunkan nilai kelarutan tetapi juga akan memberi pelapisan pada peralatan agar adsorpsi koloid scale tidak terjadi.

Hasil Pengujian Analisa Mikrobiologi

Hasil pengujian analisa mikrobiologi dari sampel air injeksi diperlihatkan pada **Tabel 12**, yang menunjukkan populasi dari bakteri aerobik dan populasi *Sulfate Reducing Bacteria* (SRB). Hasil pengujian memperlihatkan bahwa populasi SRB sangat kecil, tetapi perlu diingat bahwa perkembangan sebagian SRB justru akan lebih baik pada temperatur sekitar 140 °F, yang dalam hal ini sangat dekat dengan temperatur reservoir. Sedangkan populasi untuk bakteri aerob berjumlah sedang, bakteri-bakteri ini terus akan berkembang sesuai dengan kondisi temperaturnya.

Tabel 12. Hasil Analisa Mikrobiologi dari Sampel Air Injeksi

Sampling	Pemeriksaan	Jumlah Mikroba	Keterangan
Separator	Sulfate Reducing Bacteria	< 10 sel/ml	Rendah
Separator	Total Bacterial Content	$6,54 \times 10$ sel/ml	Sedang

Dari hasil pengujian pada **Tabel 12**, memperlihatkan bahwa populasi dari SRB (*Sulfate Reducing Bacteria*) yang terdapat di air injeksi sangatlah kecil, sehingga pengaruhnya terhadap penurunan kualitas dari air injeksi





dipermukaan akibat dari SRB tidak ada. Bakteri yang berkembang di dalam air injeksi adalah jenis bakteri aerob dengan jumlah mikroba $6,54 \times 10$ sel/ml, jumlah ini dikategorikan ketinggian pertumbuhan sedang. Bakteri ini akan berkembang apabila terjadi kontaminasi dengan udara luar (perkembangannya memerlukan oksigen). Sehingga dapat disimpulkan bahwa terjadinya penurunan kualitas dari air injeksi adalah hanya didominasi oleh bakteri aerob.

Namun demikian, melihat keadaan mikroba seperti tersebut di atas serta mengingat kemungkinan dampak yang dapat ditimbulkannya, maka masalah mikroba ini perlu mendapatkan perhatian sesuai dengan tujuan yang dikehendaki. Jika pekerjaan ditujukan pada penginjeksian air untuk meningkatkan pengurasan, maka pencegahan pertumbuhan mikroba dengan *bacteriacide* yang sesuai perlu dilakukan.

KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

Kesimpulan

1. Besarnya kandungan partikel tersuspensi (RPI = 65,55) yang terdapat pada air injeksi menyebabkan kualitas air injeksi dikategorikan jelek (*Poor*), sehingga perlu dilakukan penyaringan.
2. Penyaringan menggunakan pasir kuarsa ukuran 20/40 mesh dan 40/60 mesh dapat meningkatkan kualitas air injeksi menjadi *Questionable* mendekati *Good* (RPI menjadi turun dratis yaitu 11,87 setelah air disaring dengan 20/40 mesh dan 10,64 setelah air disaring dengan 40/60 mesh).
3. Endapan yang terbentuk dari hasil pengujian kompatibilitas adalah hanya pada percampuran antara 25% air injeksi dengan 75% air formasi, sehingga dapat dikatakan bahwa air injeksi kompatibel dengan air formasi.
4. Endapan Scale yang terbentuk dari hasil percampuran antara air injeksi dengan air formasi adalah scale CaCO_3 . Sedangkan scale CaSO_4 , BaSO_4 dan SrSO_4 tidak terbentuk.
5. Mikroba yang berkembang dan terdapat di dalam air injeksi didominasi oleh mikroba jenis aerob, sedangkan SRB populasinya sangat kecil.
6. Secara umum air injeksi yang akan digunakan memerlukan pengolahan untuk mencegah terjadinya pembentukan scale CaCO_3 dan berkembangnya bakteri aerob serta penyumbatan pori-pori batuan reservoir akibat padatan tersuspensi.

Rekomendasi

1. Apabila akan dilaksanakan injeksi air maka air injeksi harus dilakukan penyaringan terlebih dahulu untuk menghindari terjadinya problem kerusakan formasi akibat terbentuknya *plugging* dan *scale*.
2. Untuk menghindari atau mencegah terbentuknya scale CaCO_3 , disarankan menggunakan *scale inhibitor* yang hanya akan menaikkan tingkat kelarutan sehingga nilai *Scaling Index* (SI) menjadi lebih kecil.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, T., 2000, *Reservoir Engineering Handbook*, Gulf Publishing Company, Houston, Texas.
- Burcik, E.J., 1979, *Properties of Petroleum Reservoir Fluids*, John Willey and Sons, Inc, New Jersey.
- Clark, N.J., 1969, *Elements of Petroleum Reservoir*, Revised Edition, American Institute of Mining, Metallurgical, and Petroleum Engineers. Inc., New York.
- Craft, B.C., and Hawkins, M.F., 1959, *Applied Petroleum Reservoir Engineering*, Englewood Cliffs, Prentice Hall Inc., New Jersey.
- Craig, Jr., Forrest F., 1971, *The Reservoir Engineering Aspect of Waterflooding*, American Institute of Mining, Metallurgical, and Petroleum Engineers, Inc., New York, Dallas.
- Chan, K.S., 1996, Water Control Diagnostic Plot, SPE 30775, SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Dallas, USA.
- Dake, L.P., 1978, *Fundamental of Reservoir Engineering*, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, Oxford, New York.
- Hunt, E.B. Jr., "Laboratory Study of Paraffin Deposition" Transaction of AIME, 1962.
- Kristanto, D., 1998, *Injeksi Air (Waterflooding)*, Jurusan Teknik Perminyakan, Fakultas Teknologi Mineral, UPN "Veteran", Yogyakarta.
- Lee, J., 1990, *Waterflooding Industry School*, Module Course Description, Class Note Volume 1 and 2, Petroleum Engineering Department, Texas A&M University.
- Mc.Cain, W.D. Jr., 1973, *Physical Properties of Petroleum Fluids*, Petroleum Publishing Company, Tulsa.
- Rukmana, D., Kristanto, D., dan Aji, D.C., 2012, *Teknik Reservoir: Teori dan Aplikasi*, Penerbit Pohon Cahaya, Yogyakarta.
- Whilhite, P.G., 1986, *Waterflooding*, SPE Text Book Series, Volume 3, Houston, Texas.
-, 2011, Buku Petunjuk Praktikum Analisa Fluida Reservoir, Program Studi Teknik Perminyakan, UPN "Veteran" Yogyakarta.