

KAJIAN POTENSI SILICA SCALING PADA PIPA PRODUKSI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA PANAS BUMI (GEOTHERMAL)

MOCH. ARIL INDRA PERMANA[†], NAUFAL NANDALIARSYAD, AHMAD QOSAM AMRUL HAQ, MUTIARA
NAWANSARI, CUKUP MULYANA

Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Padjadjaran

Jl. Raya Bandung-Sumedang Km.21 Jatinangor 45363, Sumedang, Jawa Barat, Telp. 022-7796014

Abstrak. *Silica scaling* merupakan masalah yang sering ditemukan pada pembangkit listrik geothermal terutama yang memanfaatkan fluida *water dominated (brine)*. *Silica scaling* dapat terbentuk akibat adanya flashing yang menyebabkan penurunan tekanan, temperatur dan kenaikan pH sehingga kelarutan *brine* menjadi berubah. *Silica scaling* pada pipa produksi dapat menyumbat laju aliran fluida dan bahkan harus diganti. Dalam penelitian ini telah dilakukan kajian mengenai potensi *silica scaling* di pembangkit listrik tenaga geothermal di daerah Sumatera. Kajian dilakukan dengan melihat pengaruh perubahan temperatur, pH, dan salinitas ketika terjadi flashing terhadap potensi terbentuknya *silica scaling* dengan menggunakan *Silica Saturation Index (SSI)*. Hasil analisis dan perhitungan menunjukkan bahwa penurunan temperatur dan peningkatan pH akibat flashing, dan besar salinitas *brine* dapat meningkatkan potensi terbentuknya *silica scaling* pada pipa produksi dan keadaan asam merupakan kondisi terbaik untuk mencegah terbentuknya *silica scaling*.

Kata kunci: Silica Saturation Index, silica scaling, brine, flashing, geothermal

Abstract. *Silica scaling* is a problem that found in geothermal power plants, primarily which use utilizing water dominated fluids (*brine*). *Silica scaling* can be formed due to flashing which causes a decrease in pressure and temperature and an increase in pH so that the solubility of *brine* is changed. *Silica scaling* on production pipes can clog the fluid flow rate so that the pipe must be replaced. In this research, we have studied the potential of *silica scaling* at geothermal power plant in Sumatera. The study was conducted by looking the effect of temperature change, pH, and salinity when flashing on the potential of *silica scaling* by using *silica saturation index (SSI)*. The results (analysis and calculations) show that the decrease in temperature and the increase of pH due to flashing, and the magnitude of *brine* salinity can increase the potential of *silica scaling* in production pipes and low pH (acid) conditions are the best conditions to prevent *silica scaling*.

Keywords: Silica Saturation Index, silica scaling, brine, flashing, geothermal

1. Pendahuluan

Energi panas bumi (*geothermal*) merupakan energi panas yang berasal dari dalam bumi yang dapat diperbaharui (*renewable energy*) dan merupakan energi panas yang tersimpan dalam rekahan batuan atau fluida yang terkandung di bawah permukaan bumi. Energi ini dapat dimanfaatkan untuk mengurangi konsumsi bahan bakar fosil yang semakin menipis. Hasil produksi dari panas bumi dapat berupa uap kering (*superheated steam*), uap jenuh (*saturated steam*), dua fasa (*brine*), atau air panas [1].

Di Indonesia, sumber panas bumi yang banyak digunakan adalah fluida dua fasa (*brine*) dengan dominasi cair. Kandungan utama *brine* adalah larutan NaCl sebesar 80% dan kalium, kalsium, silika, dan nirkarbonat yang merupakan unsur utama lainnya [2]. Untuk memisahkan kedua fasa tersebut, dilakukan *flashing* yang biasa terjadi di dalam reservoir saat fluida mengalir melalui

[†] email: arilindra21@gmail.com

formasi lapisan permeabel, pada sumur produksi menuju *wellhead*, *throttle valve*, separator dan *flasher* [3].

Flashing yang terjadi akan memengaruhi komposisi *brine* yaitu semakin pekatnya konsentrasi *silica* karena kehilangan sejumlah air yang berubah menjadi uap akibat penurunan tekanan dan temperatur, dan terjadinya pelepasan gas seperti CO_2 dan H_2S yang akan memengaruhi pH *brine* [2]. Akibatnya timbul suatu masalah proses produksi sumber energi *geothermal* pada sistem *flash steam* ini yaitu terbentuknya *scaling*.

Scaling didefinisikan sebagai pembentukan endapan atau kerak yang berasal dari mineral garam terlarut dalam air pada suatu media kontak tertentu. Salah satu penyebab terbentuknya *scaling* adalah adanya kandungan silika (SiO_2) yang terkandung dalam *brine* [4]. Sifat-sifat yang memengaruhi konsentrasi kelarutan silika dalam pembentukan *scale* adalah temperatur, kadar garam (salinitas), dan nilai keasaman (pH). Ketika terjadi perubahan tekanan, temperatur, dan pH pada suatu sistem, keseimbangan ion-ion yang terkandung akan melebihi kelarutannya, sehingga terbentuk suatu endapan.

Scaling umumnya dapat dijumpai pada pipa antara daerah *wellhead* dengan separator, *flasher*, pipa *liquid* setelah separator (yang kemudian dibuang ke kolam penampungan) dan sumur reinjeksi sehingga dapat mengganggu proses operasional pemanfaatan *geothermal* pada *pipelines*, turbin, maupun sumur injeksi. Hal tersebut terjadi karena *scaling* dapat mengakibatkan penyumbatan pipa, sehingga mengurangi laju aliran dan dampak jangka panjangnya harus dilakukan penggantian. Oleh karena itu kajian tentang potensi *scaling* sangat diperlukan pada operasi lapangan panas bumi.

Upaya pencegahan yang seringkali dilakukan adalah dengan menginjeksi zat kimia pengontrol *scale* (*inhibitor scale*), baik pada sumur maupun pada pipa-pipa dan peralatan produksi. Zat kimia tersebut bekerja dengan cara menjaga partikel pembentuk *scale* tetap dalam larutan, sehingga diharapkan tidak terjadi pengendapan. Hal ini dapat terjadi karena inhibitor bekerja untuk mencegah terbentuknya reaksi polimerisasi silika yang disebabkan penurunan kelarutan silika. Laju polimerisasi silika dalam keadaan minimum pada keadaan asam dan akan meningkat seiring dengan kenaikan pH. Maka dari itu, inhibitor *scale* yang biasa digunakan adalah asam kuat seperti HCl dan H_2SO_4 .

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui mengkaji faktor yang memengaruhi potensi silika *scaling* di salah satu pembangkit listrik tenaga panas bumi di daerah Sumatera. Diharapkan dengan mengetahui potensi silika *scaling* tersebut, maka dapat ditentukan kondisi operasi yang sesuai agar masalah silika *scaling* dapat dihindari.

2. Bahan dan Metode

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data sekunder dari salah satu pembangkit listrik *geothermal* di daerah Sumatera yang diperoleh dari buku literatur, dan laporan-laporan penelitian terdahulu.

Metoda yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan penerapan parameter *silica saturation index* (SSI) yang dihitung berdasarkan data komposisi kimia fluida, temperatur, dan pH di separator dan *flasher*. Parameter SSI ini membandingkan konsentrasi silika dalam larutan dengan kelarutan silika amorf pada kondisi yang sama.

- SSI > 1, fluida dalam kondisi *supersaturated* dan *scaling* dimungkinkan terjadi.
- SSI = 1, fluida dalam kondisi *saturated*.
- SSI < 1, fluida dalam kondisi *undersaturated*, sehingga tidak mungkin terjadi pengendapan.

$$SSI = \frac{Q(t_1, m)}{[s(T, m)(1-x_2)]} \quad (1)$$

Dengan

$Q(t_1, m)$	= kelarutan quartz pada temperatur reservoir (t_1) dan salinitas m
$s(T, m)$	= kelarutan amorf pada temperatur flashing dan salinitas m
x_2	= kualitas uap <i>flashing</i>

Pembentukan silica scaling meningkat seiring dengan penurunan temperatur dan kenaikan pH akibat flashing. laju penebalan silica scaling yang terjadi pada pipa produksi dan estimasi waktu silica scaling dapat menyumbat pipa hingga 25% dari diameter pipa semula dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$\dot{S}_t = \frac{[Q(T_1, m) - s(T_2, m)]}{1743 \times \rho_{silica}} \times 365 \quad (2)$$

$$t_{25\%} = \frac{D}{4 \times \dot{S}_t} \quad (3)$$

Dengan

\dot{S}_t	= Laju penebalan silica scaling (inch/tahun)
ρ_{silica}	= Densitas silica = 43,442 g/in ³
$Q(t_1, m)$	= kelarutan quartz pada temperatur reservoir (t_1) dan salinitas m
$s(T, m)$	= kelarutan amorf pada temperatur flashing dan salinitas m
D	= Diameter pipa (inch)

3. Eksperimen

Dengan menggunakan data sekunder yang didapat dari buku literatur dan laporan penelitian terdahulu, maka dilakukan perhitungan potensi *silica scaling* dengan menggunakan persamaan (1). Setelah didapat potensi terbentuknya *silica scaling*, di hitung laju penebalan *silica scaling* dan estimasi waktu yang dibutuhkan *silica scaling* untuk mengendap menutupi 25% diameter pipa produksi dari diameter semula dengan menggunakan persamaan (2) dan (3).

Dari beberapa faktor yang berpengaruh terhadap pembentukan *silica scaling*, faktor kenaikan pH merupakan faktor yang dapat dilakukan rekayasa berupa pemberian treatment asam. Dengan memvariasikan pH *brine* dari 5-9 maka akan terlihat pengaruh perubahan pH terhadap laju penebalan silica scaling dan waktu penyumbatan pada pipa produksi. Diharapkan hasil tersebut dapat digunakan sebagai acuan keadaan terbaik untuk menjaga efisiensi dari pipa produksi pembangkit.

4. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan hasil perhitungan SSI pada tabel 1, pada cluster C dan D berpotensi terbentuk *silica scaling* yang ditandai nilai SSI > 1 yaitu berturut turut 1,27 dan 1,38. Faktor-faktor yang

memengaruhi pembentukan *silica scaling* ini adalah salinitas, peningkatan pH, dan penurunan temperatur akibat *flashing*.

Tabel 1. Hasil perhitungan SSI di lapangan

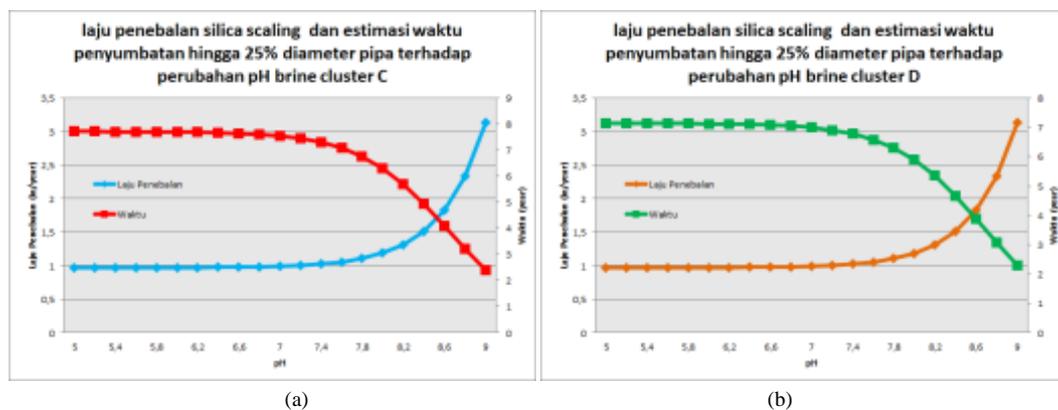
Cluster	$T_{Cluster}$ (°C)	Cl_{surf} (ppm)	SiO_{2surf} (ppm)	$pH_{Cluster}$	T_{Sep} (°C)	pH_{Sep}	SSI
C	270	995,00	610,00	6,40	175,7	8,60	1,27
D	270	1092,00	727,00	6,25	178,3	8,84	1,38

Seperti terlihat pada Tabel 2, pada pembangkit *cluster C*, di daerah separator 1 dibutuhkan sekitar 4 tahun 1 bulan 16 hari hingga pipa tersumbat 25% dari diameter pipa yang diasumsikan sebesar 15 inch. Sehingga, agar menghasilkan efisiensi pembangkit yang optimum, perlu dilakukan pemeliharaan tiap kurang dari 4 tahun 1 bulan 16 hari untuk mencegah tersumbatnya pipa sebesar 25% akibat *silica scaling*. Hal yang sama terjadi pada Cluster D, dengan waktu estimasi penyumbatan pipa hingga 25% adalah 3 tahun 23 hari. Waktu estimasi penyumbatan di cluster D lebih kecil dikarenakan tingkat salinitas dan kenaikan pH yang tinggi setelah *flashing* yang mengakibatkan peningkatan potensi terbentuknya *silica scaling* dan laju penebalan *silica scaling*. Meskipun penurunan temperatur pada cluster D lebih kecil dibanding *cluster C*, namun dikarenakan faktor pH dan salinitas yang lebih dominan maka potensi *silica scaling* dan laju penebalan *silica scaling* pada cluster D menjadi lebih besar.

Tabel 2. Waktu Penyumbatan Pipa Hingga 25% dari Diameter Semula

Cluster	Lokasi	SSI	\dot{S}_t (in/tahun)	$t_{25\%}$ (tahun)
C	Separator 1	1,27	1,834	4,088
D	Separator 2	1,38	2,338	3,065

Pada Tabel 3, ketika *brine* diberi treatment berupa sama, dengan merubah pH *brine* menjadi 5, terlihat bahwa potensi *silica scaling* menjadi berkurang ($SSI < 1$). Sehingga, dengan menjaga pH *brine* pada pipa produksi dapat menghindari potensi terbentuknya *silica scaling*. Pada keadaan asam, laju polimerisasi silika terlarut pada *brine* akan menjadi minimum. Sehingga reaksi dalam membentuk *scaling* semakin minimum.



Gambar 1. Grafik laju penebalan *silica scaling* dan estimasi waktu penyumbatan hingga 25% diameter pipa terhadap perubahan pH brine pada (a) Cluster C dan (b) Cluster D

Dari Gambar 1, grafik laju penebalan silica scaling dan estimasi waktu penyumbatan hingga 25% diameter pipa terhadap perubahan pH *brine* pada *Cluster C* dan *D* terlihat bahwa terjadi peningkatan laju penebalan *silica scaling* secara signifikan pada titik pH >7. Ini mengindikasikan bahwa pada keadaan asam (pH < 7), laju penebalan *silica scaling* pada keadaan minimum yang ditandai dengan estimasi waktu penyumbatan pipa produksi hingga 25% menjadi semakin besar.

Berdasarkan hasil yang diperoleh, beberapa faktor penyebab terbentuknya *silica scaling* adalah penurunan temperatur, kenaikan pH dan salinitas. Dari ketiga faktor tersebut, faktor kenaikan pH merupakan faktor yang dapat ditangani dengan pemberian inhibitor *scale* berupa asam untuk menghambat laju polimerisasi silika. ini dibuktikan pada tabel 3, dimana nilai SSI pada cluster C dan D berada pada nilai kurang dari 1 dan pada Gambar 1 terlihat bahwa laju penebalan *silica scaling* terjadi peningkatan pada pH > 7 dan cenderung stabil pada keadaan asam. Inhibitor *scale* yang biasa digunakan adalah asam kuat seperti HCl dan H₂SO₄.

Tabel 3. Hasil perhitungan SSI setelah injeksi asam

Source	T _{Cluster} (°C)	Cl _{surf} (ppm)	SiO _{2surf} (ppm)	pH _{Cluster}	T _{Sep} (°C)	pH _{Sep}	SSI
C	209,88	879,00	589,00	6,40	175,7	5	0,434
D	209,99	1057,00	680,00	6,25	178,3	5	0,422

7. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan sebelumnya, maka dapat diambil kesimpulan bahwa:

1. Potensi *silica scaling* semakin meningkat seiring dengan meningkatnya kadar pH, besarnya salinitas *brine*, dan penurunan temperatur akibat *flashing*.
2. Pada keadaan asam (pH < 7), laju polimerisasi silika pada keadaan minimum dan potensi terbentuknya *silica scaling* akan menurun. Sehingga laju penebalan menjadi menurun dan waktu estimasi penyumbatan akan semakin lama. Sehingga produksi dari pembangkit akan semakin baik.
3. Untuk memperpanjang umur dan efisiensi yang dihasilkan dari pipa produksi pembangkit, disarankan untuk dilakukan *treatment* berupa injeksi asam untuk menjaga pH *brine* tetap dalam keadaan asam.

Ucapan terima kasih

Ucapan terima kasih penulis sampaikan Ahmad Taufik yang telah membantu penulis dalam memberikan pengarahannya dan bimbingannya dalam menyelesaikan penelitian ini.

Daftar Pustaka

1. Irawan, S., Ratnaningsih, W.E., Nurmabruroh, S., Anggraini, F.A., dan Dzakiya, N, *Pemboran Sumur Eksplorasi dan Pengembangannya*, Makalah Tugas Mata Kuliah Eksplorasi Panas Bumi, S2 Ilmu Fisika UGM Yogyakarta.
2. DiPippo, R., *International Development in Geothermal Power Production*, Geothermal Resource Council Bulletin, 1988.
3. Edward, F.W., *Geothermal Energy Utilization*, John Wiley & Sons, USA, 1997.
4. Lestari, M. G., Wahyuni, S. dan Sitaresmi, R., *Problema "Scaling" di Beberapa Lapangan Migas*. Proceeding Simposium Nasional IATMI 25 - 28 Juli 2007, UPN "Veteran" Yogyakarta.