

Analisis *Scaling* Silika pada Pipa Injeksi *Brine* di Lapangan Panas Bumi Dieng dengan Studi Kasus di PT. Geo Dipa Energi

Rendra Wahyudityo¹, Andang Widi Harto², Kutut Suryoprato³

^{1,2,3} Jurusan Teknik Fisika FT UGM

Jln. Grafika 2 Yogyakarta 55281 INDONESIA

¹rendrawahyudityo@gmail.com

²andang@ugm.ac.id

³kutut@ugm.ac.id

Intisari— *Scaling* silika yang terjadi di jalur pipa injeksi *brine* merupakan sebuah masalah penting yang terjadi di lapangan panas bumi Dieng. *Scaling* silika menyebabkan proses injeksi *brine* menjadi terganggu, dimana proses tersebut bertujuan untuk menjaga volume reservoir panas bumi dan menjaga kuantitas uap produksi dalam jangka panjang. Oleh karena itu kajian tentang masalah *scaling* silika di jalur injeksi *brine* pada suatu lapangan panas bumi dirasa sangat diperlukan. Pemodelan yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui parameter apa yang paling berpengaruh terhadap proses pembentukan *scaling* silika di jalur injeksi *brine*, terkait dengan laju penebalan *scaling* dan posisi dimana *scaling* mulai terbentuk khususnya di jalur pipa injeksi *brine* yang menghubungkan sumur produksi 7 (PAD 7) ke sumur injeksi 33 (PAD 33) di lapangan panas bumi Dieng. Hasil pemodelan menunjukkan bahwa pH *brine* merupakan parameter yang paling berpengaruh terhadap laju penebalan *scaling* per tahun sedangkan kadar silika amorphous terlarut dalam *brine* merupakan parameter yang paling berpengaruh terhadap posisi dimana *scaling* silika mulai terbentuk di sepanjang jalur pipa injeksi. Berdasarkan hasil pemodelan, *scaling* silika berpotensi untuk tidak terjadi di jalur pipa injeksi *brine* (PAD 7 - PAD 33) di lapangan panas bumi Dieng apabila kadar silika amorphous terlarut dalam *brine* berada dibawah nilai 170 ppm dan atau pH *brine* bernilai di bawah 4.

Kata kunci— *brine*, silika amorphous, pipa injeksi, laju penebalan *scaling*, posisi *scaling*.

I. PENDAHULUAN

Lapangan panas bumi Dieng merupakan salah satu lapangan panas bumi yang terletak di Pulau Jawa dengan potensi energi panas bumi total sebesar ± 200 MW. Karakteristik fluida produksi pada lapangan panas bumi Dieng agak berbeda dengan karakteristik fluida produksi di lapangan panas bumi lainnya di Indonesia dikarenakan selain bersifat *water dominated*, fluida produksi lapangan panas bumi Dieng tersebut juga memiliki kandungan silika yang tinggi yakni ± 900 mg/L [1].

Kandungan silika pada fluida produksi yang tinggi tersebut kemudian menyebabkan masalah *scaling* baik di sumur produksi uap panas bumi maupun pada jalur injeksi *brine* di lapangan panas bumi Dieng. *Scaling* sendiri dapat didefinisikan sebagai pembentukan endapan atau kerak yang berasal dari mineral garam terlarut dalam air pada suatu media kontak tertentu yang mengakibatkan penskalaan pada media kontak tersebut, misal pengecilan diameter dalam pipa atau bahkan penyumbatan total pada pipa. *Scaling* pada jalur

injeksi *brine* menyebabkan pengecilan diameter pipa injeksi sehingga menyebabkan proses pendistribusian *brine* ke sumur injeksi menjadi terganggu. Proses injeksi *brine* sendiri bertujuan untuk menjaga volume suatu reservoir panas bumi dan juga untuk menjaga kuantitas uap produksi dalam jangka panjang [2]. Oleh karena itu kajian tentang masalah *scaling* silika di jalur injeksi *brine* di suatu lapangan panas bumi dirasa perlu untuk dilakukan.



Gambar 1 *Scaling* silika pada jalur injeksi *brine* di lapangan panas bumi Dieng [3]

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui faktor apa yang paling berpengaruh terhadap pembentukan *scaling* terkait laju penebalan *scaling* dan posisi dimana *scaling* mulai terbentuk di sepanjang jalur injeksi *brine* dengan membuat suatu pemodelan proses. Penelitian ini mengambil studi kasus terkait masalah *scaling* silika pada jalur injeksi *brine* di PT. Geo Dipa Energi dengan mengambil objek penelitian yakni jalur injeksi *brine* yang terhubung dari sumur produksi 7 (PAD 7) ke sumur injeksi 33 (PAD 33) di lapangan panas bumi Dieng. Adapun manfaat dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan pemodelan proses pembentukan *scaling* guna memprediksi laju penebalan dan posisi dimana *scaling* mulai terbentuk di sepanjang jalur injeksi *brine*. Selain itu hasil dari penelitian ini juga dapat dijadikan sebagai saran atau rekomendasi terkait upaya pencegahan terjadinya *scaling* silika di jalur injeksi *brine* kepada perusahaan terkait.

II. STUDI PUSTAKA

Sapto Ciptadi dan Salvius Patangke pada tahun 2001 telah melakukan kajian untuk mengevaluasi masalah *scaling* silika yang terjadi di jalur sumur produksi uap, jalur dua fasa, dan jalur injeksi *brine* di lapangan panas bumi Lahendong, Sulawesi Utara. Penelitian yang berjudul “Evaluasi Potensi Silika *Scaling* pada Pipa Produksi Lapangan Panasbumi Lahendong – Sulawesi Utara” tersebut menjelaskan tentang beberapa metode yang pernah digunakan untuk memprediksi potensi *scaling* silika di suatu lapangan panas bumi [4].

Thrain Fridriksson dan Sverrir Thorhallson pada tahun 2005 dalam paper berjudul “*Geothermal Utilization : Scaling and Corrosion*”, telah melakukan kajian tentang masalah *scaling* dan korosi yang terjadi di lapangan panas bumi Reykjanes, Islandia. Dalam kajiannya dijelaskan bahwa *scaling* silika pada jalur injeksi *brine* disebabkan oleh mineral garam pembentuk yaitu silika amorphous [5].

Tohoku Electric Power pada tahun 2006 dalam paper berjudul “*Preventions and Solutions for the Scale Problem at the Geothermal Power Plant and CDM Study in Indonesia*”, telah melakukan kajian terkait masalah *scaling* pada lapangan panas bumi Dieng yang disertai dengan analisis terkait pengaruh masalah *scaling* silika di sumur produksi

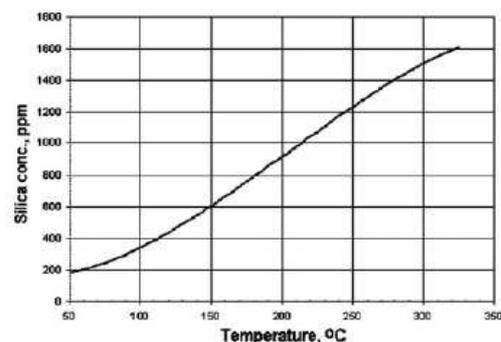
terhadap pengurangan produksi listrik yang dihasilkan pada lapangan panas bumi tersebut. Penelitian ini juga menjelaskan perkembangan lapangan panas bumi Dieng dari tahun ke tahun dimulai sejak tahun awal pengoperasiannya [4].

C.H van der Weijden pada tahun 2007 dalam “*Cahiers of Geochemistry Silika I : Silicon Analytical, Physical and Terrestrial Geochemistry*”, Department of Geosciences – Geochemistry Utrecht University, telah melakukan kajian terkait sifat fisik dan kimia dari silika amorphous. Dalam paper tersebut dipaparkan tentang laju reaksi pengendapan silika amorphous sebagai fungsi suhu dan pH [6].

III. DASAR TEORI

Scaling silika pada jalur injeksi *brine* dikontrol oleh sifat kimia dan termodinamika dari silika amorphous [7]. Pada proses injeksi *brine*, terjadi fenomena transfer panas ketika *brine* mengalir melalui pipa injeksi. Proses transfer panas yang berlangsung bersifat eksotermis (sistem melepas panas ke lingkungan) dikarenakan suhu *brine* lebih tinggi daripada suhu lingkungan. Proses transfer panas tersebut menyebabkan adanya distribusi temperatur *brine* selama mengalir di sepanjang jalur pipa injeksi.

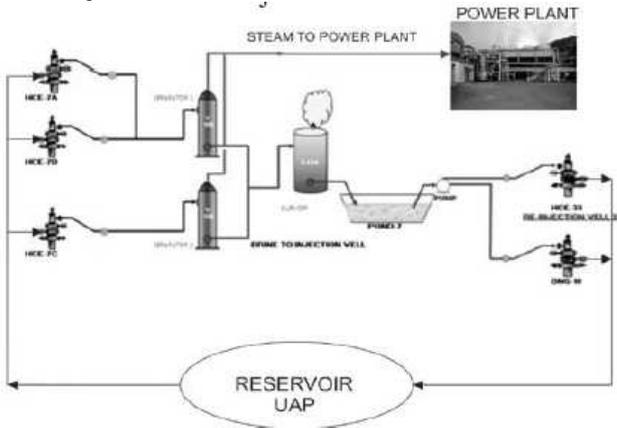
Sifat kimia silika amorphous yang berpengaruh langsung terhadap proses pembentukan *scaling* adalah kelarutan jenuh (saturasi) sebagai fungsi suhu. Adanya distribusi temperatur *brine* selama proses injeksi *brine* menyebabkan kelarutan jenuh silika amorphous menurun di sepanjang jalur injeksi.



Gambar 2 Grafik kelarutan jenuh silika amorphous [7]

Skema proses injeksi *brine* dimulai ketika *brine* telah berhasil dipisahkan oleh uap bersih pada

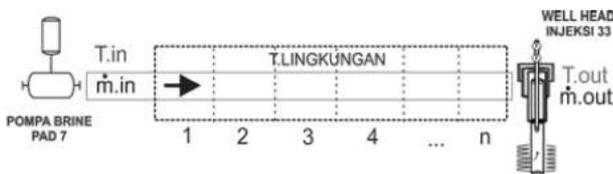
separator. Setelah keluar dari separator, *brine* kemudian masuk ke *silencer* (atm separator) untuk mereduksi kembali fraksi uap yang terkandung. Setelah itu, *brine* ditampung dalam sebuah kolam penampungan (*pond*) dengan tujuan untuk mengurangi kadar silika terlarut di dalam *brine* sehingga mengurangi potensi *scaling* pada pipa injeksi *brine* ketika *brine* mulai didistribusikan ke sumur injeksi.



Gambar 3 Skema proses injeksi *brine* pada lapangan panas bumi Dieng

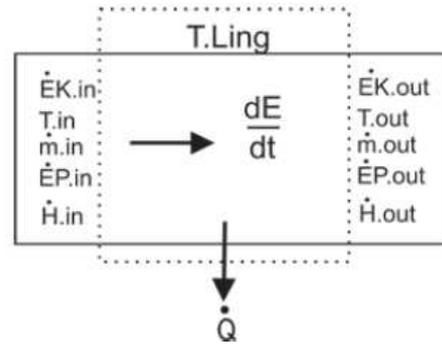
A. Analisis Distribusi Temperatur Brine

Untuk melakukan analisis distribusi temperatur *brine* di sepanjang jalur injeksi, hal yang pertama dilakukan adalah dengan melakukan analisis energi pada sistem. Dalam melakukan analisis energi ini, peneliti membagi control volume menjadi beberapa bagian dalam bentuk sel, dimana setiap satu sel mewakili dimensi pipa sepanjang dua meter. Oleh karena panjang jalur injeksi *brine* yang sebenarnya (PAD 7-PAD 33) mencapai 2764 meter maka dalam pemodelan akan terdapat 1382 sel.



Gambar 4 Model pipa injeksi *brine* dan control volume

Analisis energi untuk tiap-tiap sel dapat dinyatakan sebagai berikut [8] :



$$\frac{dE}{dt} = \left[\dot{m}_{in} \left(cp \Delta T + \frac{1}{2} v_{in}^2 + gz_{in} \right) \right] - \left[\dot{m}_{out} \left(cp \Delta T + \frac{1}{2} v_{out}^2 + gz_{out} \right) \right] + \dot{Q} + \dot{W}$$

Adapun asumsi yang digunakan antara lain:

- Sistem berada pada kondisi tunak (*steady state*) sehingga $\frac{dE}{dt} = 0$;
- Massa yang masuk dan keluar sistem tetap ($m_{in}=m_{out}$) atau pipa tidak bocor;
- Tidak ada kerja yang dihasilkan sistem ($W=0$) ;
- Sistem melepas kalor ke lingkungan (eksotermis) karena $T_{lingkungan} < T_{sistem(brine)}$ sehingga Q bernilai minus (-) ;
- Perbedaan ketinggian diabaikan sehingga $EP=0$;
- Pipa berdiameter tetap sehingga $v_{in}=v_{out}$.

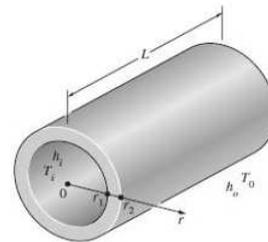
Dari analisis energi tersebut maka didapatkan hubungan energi pada sistem yakni :

$$\dot{Q}_{loss} = \dot{m} cp_{total} (T_{in} - T_{out})$$

$$\dot{Q}_{loss} = \dot{m} cp_{total} (T_{in} - T_{out})$$

Adapun nilai dari \dot{Q}_{loss} adalah [9] :

$$\dot{Q}_{loss} = \frac{(T_{in} - T_{ling})}{\frac{1}{A_i h_i} + \frac{\ln(r_o/r_i)}{2\pi L K_{bahan}} + \frac{1}{A_o h_o}}$$



Gambar 5 Perpindahan panas pada pipa

Dengan menggabungkan persamaan 2 dan 3 maka akan didapatkan persamaan distribusi temperatur yakni:

$$T_{out} = T_{in} - \frac{(T_{in} - T_{lingkungan})}{\dot{m} \cdot (Cp_{water} + x \cdot Cp_{silika}) \cdot R_{total}} \quad (3.4)$$

Hubungan temperatur masuk dan keluar pada batas sistem dapat dinyatakan :

$$T_{n+1} = T_{n-1} - \frac{(T_{n-1} - T_{lingkungan})}{\dot{m} \cdot (Cp_{water} + x \cdot Cp_{silika}) \cdot R_{total}} \quad (3.5)$$

Dari hubungan tersebut temperature *brine* di tiap-tiap sel dapat dihitung dengan mengasumsikan persebaran suhu *brine* di dalam sistem seragam sehingga:

$$T_n = \frac{T_{n-1} - T_{n+1}}{2} \quad (3.6)$$

dimana T_n = suhu *brine* di tiap-tiap sel

B. Pembentukan Reaksi Pengendapan

Berdasarkan syarat terjadinya reaksi, reaksi pengendapan silika amorphous baru akan terjadi apabila kadar silika terlarut dalam *brine* telah melebihi kelarutan jenuhnya pada kondisi temperatur tertentu [7]. Untuk itu, kelarutan jenuh silika amorphous dapat dihitung dengan memasukkan nilai T_n ke persamaan kelarutan jenuh silika amorphous yaitu:

$$\text{Amorph. Silika (ppm)} = -6E-05T^3 + 0,0333T^2 - 0,0327T + 88,773 \quad (3.7)$$

Persamaan 7 merupakan persamaan yang dibentuk dari grafik kelarutan silika amorphous (Gambar 2).

Langkah berikutnya adalah membandingkan fraksi terlarut dalam *brine* pada kondisi sebenarnya dengan kelarutan jenuh silika yang telah dihitung untuk tiap-tiap sel. Apabila syarat terjadinya reaksi pengendapan terpenuhi (fraksi silika terlarut > kelarutan jenuhnya pada kondisi yang sama) maka besarnya reaksi pengendapan yang terjadi dapat dihitung dengan memasukkan nilai T_n dan pH *brine* ke persamaan reaksi yaitu:

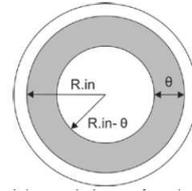
$$\text{Rx rate} \left(\frac{\text{mol}}{\text{m}^2\text{s}} \right) = 10^{-5,7} \cdot 10^{(-26,9/2,303RT)} + 10^{(-13,7+1,9(\text{pH}))} \cdot 10^{(-\frac{8,15 \cdot \text{pH}}{2,303RT})} \quad (3.8)$$

C. Laju Penebalan Scaling

Besarnya laju penebalan *scaling* dapat dicari dengan mengasumsikan bahwa laju perubahan

volume *scaling* yang terbentuk sebanding dengan laju massa silika yang mengendap dengan faktor pengali yaitu massa jenis silika itu sendiri.

$$\frac{dV_{sil}}{dt} = \frac{dm}{dt} \cdot \frac{1}{\rho_{sil}}$$



Dengan begitu laju penebalan *scaling* dapat dinyatakan dalam bentuk :

$$\frac{d\theta}{dt} \left[A - B\theta + \frac{Ct}{\rho_{sil}} \right] = \frac{C R_{in}}{\rho_{sil}} - \frac{C \theta}{\rho_{sil}} \quad (3.10)$$

dimana:

$$A = 2\pi R_{in} L$$

$$B = 2\pi L$$

$$C = M_{total} \cdot Rx \cdot MR \cdot 2 \pi \cdot L$$

IV. PELAKSANAAN PENELITIAN

Pelaksanaan penelitian dimulai dengan melakukan studi pustaka dan pembuatan pemodelan awal dengan mengacu pada data-data sekunder yang bersumber dari berbagai literature. Setelah hasil pemodelan awal berhasil memberikan gambaran umum hasil penelitian, penelitian dilanjutkan dengan pengambilan data primer pada perusahaan terkait yakni PT. Geo Dipa Energi pada tanggal 1- 15 Juli 2012. Data primer tersebut merupakan data yang bersumber dari pengukuran langsung di lapangan.

Setelah keseluruhan data yang dibutuhkan untuk perhitungan didapatkan, maka peneliti membuat lembar pengolahan data menggunakan MS Excel yang terdiri dari tiga bagian yakni : lembar input data, lembar perhitungan dan lembar penyajian hasil/grafik. Adapun algoritma dalam melakukan perhitungan analisis *scaling* silika pada objek penelitian adalah:

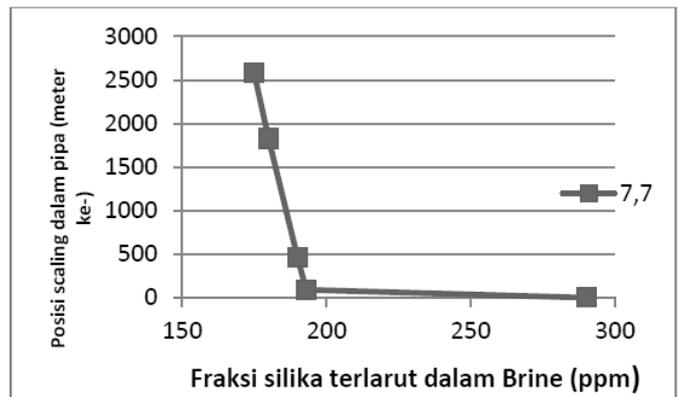
- Start
- Input nilai T_{in} , $T_{lingkungan}$, q_{brine} (fraksi silika dalam brine), pH, $flowrate\ brine$, panjang $control\ volume$ (L), R_{total} , laju alir massa (\dot{m}), x (fraksi silika terlarut dalam %), cp_{air} , cp_{silika} .
- Hitung T_{output} di batas sel ($control\ volume$) dengan persamaan 3.5.
- Hitung T_n (suhu brine di dalam tiap-tiap sel) dengan persamaan 3.6.
- Hitung kelarutan jenuh amorphous ($q_{saturasi}$) silika dengan memasukkan nilai T_n ke persamaan 3.7.
- Bandingkan nilai q_{brine} dengan $q_{saturasi}$
- Jika $q_{brine} > q_{saturasi}$ maka terjadi reaksi pengendapan
- Jika $q_{brine} < q_{saturasi}$ maka tidak terjadi reaksi.
- Jika terjadi reaksi pengendapan, hitung besarnya reaksi pengendapan dengan persamaan 3.8.

V. HASIL DAN PEMBAHASAN

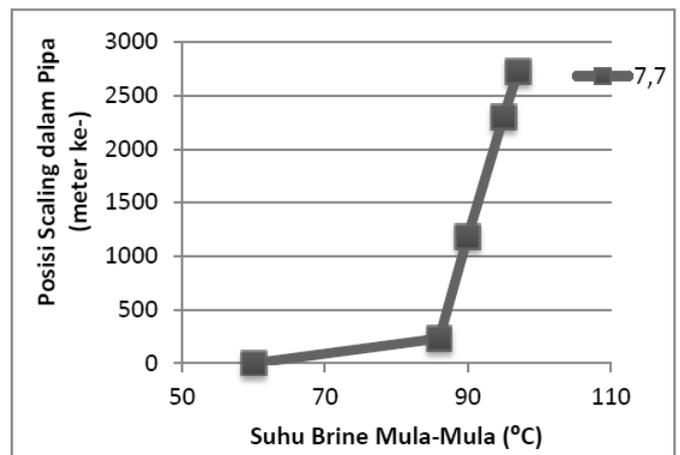
Terkait dengan rencana analisis hasil penelitian, maka hasil dari penelitian ini antara lain berupa:

1. Analisis terkait potensi terjadinya *scaling* silika pada pipa injeksi brine di lapangan geothermal Dieng yang menggambarkan posisi dimana *scaling* silika mulai terbentuk di dalam pipa dan berapa laju penebalannya berdasarkan data yang diperoleh selama penelitian.
2. Analisis terkait variasi parameter yang berpengaruh terhadap proses pembentukan *scaling* diantaranya:
 - a) Pengaruh variasi fraksi silika terlarut dalam brine terhadap laju penebalan dan posisi dimana *scaling* mulai terbentuk di jalur pipa injeksi.
 - b) Pengaruh variasi suhu brine mula-mula terhadap laju penebalan dan posisi dimana *scaling* mulai terbentuk di jalur pipa injeksi.
 - c) Pengaruh variasi pH brine terhadap laju penebalan *scaling* silika
 - d) Pengaruh variasi $flowrate\ brine$ terhadap laju penebalan *scaling* silika.
 - e) Pengaruh variasi suhu lingkungan terhadap laju penebalan *scaling* silika.

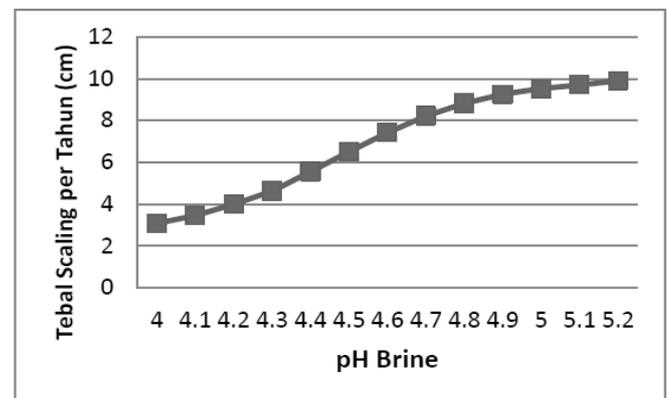
Berdasarkan analisis hasil pemodelan, maka berikut ini adalah penyajian beberapa grafik yang menggambarkan hubungan parameter-parameter pembentuk *scaling* silika terhadap posisi dan laju penebalan *scaling* di jalur injeksi brine (PAD 7-PAD 33) di lapangan panas bumi Dieng antara lain:



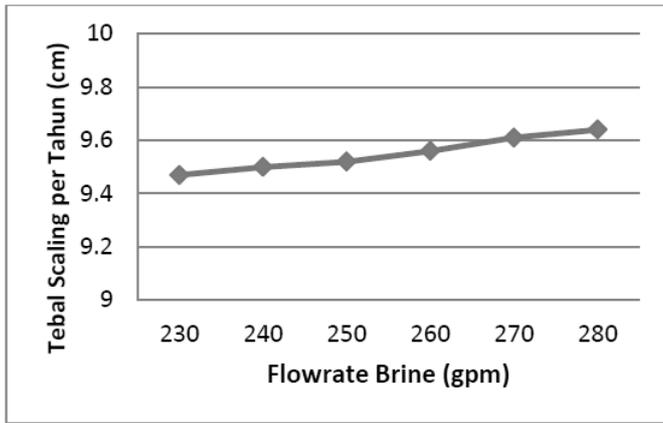
Gambar 6 Pengaruh variasi fraksi silika terlarut dalam brine terhadap laju penebalan dan posisi dimana *scaling* mulai terbentuk di jalur pipa injeksi



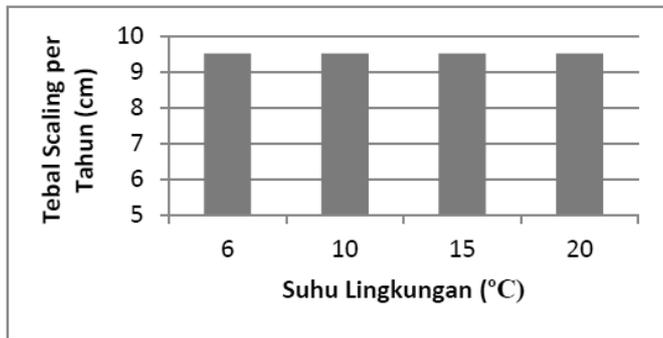
Gambar 7 Pengaruh variasi suhu brine mula-mula terhadap terhadap laju penebalan dan posisi dimana *scaling* mulai terbentuk di jalur pipa injeksi



Gambar 8 Pengaruh variasi pH brine terhadap laju penebalan *scaling* per tahun



Gambar 9 Pengaruh variasi flowrate *brine* terhadap laju penebalan *scaling* per tahun.



Gambar 10 Pengaruh variasi suhu lingkungan terhadap laju penebalan *scaling* silika.

Berdasarkan analisis hasil yang telah dilakukan dalam penelitian ini, maka dapat dilihat bahwa parameter fraksi silika terlarut dan suhu *brine* mula-mula merupakan parameter yang berpengaruh hanya terhadap posisi dimana *scaling* mulai terbentuk dan tidak mempengaruhi laju penebalan *scaling*. Dari hasil perhitungan diketahui bahwa semakin rendah kandungan silika di dalam *brine* maka potensi terjadinya *scaling* di sepanjang jalur pipa injeksi juga akan semakin kecil. Analisis menunjukkan bahwa *scaling* kemungkinan tidak terjadi di sepanjang jalur (hingga *wellhead* injeksi) apabila kadar silika dalam *brine* berada dibawah 170 ppm. Namun apabila mengacu pada kondisi saat ini dimana kadar silika terlarut dalam *brine* = 290 ppm maka *scaling* silika berpotensi terjadi di sepanjang jalur injeksi (PAD 7-PAD 33).

Parameter lainnya yang berpengaruh terhadap posisi dimana *scaling* mulai terbentuk adalah suhu *brine* mula-mula. Semakin tinggi suhu *brine* maka potensi *scaling* di jalur injeksi *brine* akan semakin

kecil. Penurunan suhu *brine* selama proses injeksi mencapai $\pm 7^\circ \text{C}$. Dengan kondisi saat ini yaitu suhu *brine* mula-mula = 60°C maka *scaling* berpotensi terjadi di sepanjang jalur injeksi *brine*. *Scaling* kemungkinan dapat tidak terjadi apabila suhu *brine* mula-mula dinaikkan menjadi 100°C . Parameter suhu lingkungan ternyata tidak memberikan pengaruh terhadap proses pembentukan *scaling*, fluktuasi suhu lingkungan di lapangan panas bumi Dieng tidak signifikan mempengaruhi laju penebalan dan posisi *scaling* di sepanjang jalur injeksi *brine*.

Parameter pH dan *flowrate* merupakan parameter yang berpengaruh terhadap laju penebalan *scaling* namun tidak mempengaruhi posisi dimana *scaling* mulai terbentuk. Parameter pH merupakan parameter yang paling berpengaruh secara signifikan terhadap laju penebalan *scaling* apabila dibandingkan dengan parameter *flowrate brine*. *Brine* sendiri dapat dianggap sebagai larutan asam lemah dengan reaksi:

Berdasarkan grafik 9 pengaruh pH terhadap laju penebalan *scaling* membentuk fungsi polinomial. Pada kondisi saat ini dimana pH *brine* = 5, penebalan *scaling* per tahun mencapai nilai 9,52 cm/tahun dimana data di lapangan menunjukkan bahwa laju penebalan *scaling* adalah ± 2 cm/tahun. Apabila pH *brine* = 4 maka laju penebalan *scaling* diperkirakan mencapai 3,09 cm/tahun. Semakin rendah pH *brine* (bersifat asam) maka laju penebalan *scaling* akan semakin kecil, sebaliknya semakin tinggi nilai pH (*brine* bersifat basa) maka laju penebalan *scaling* akan semakin besar karena reaksi pengendapan yang terjadi juga akan semakin besar nilainya.

Berdasarkan hasil analisis diatas, maka dapat disimpulkan bahwa *scaling* silika di jalur injeksi *brine* (PAD 7-PAD 33) di lapangan panas bumi Dieng dapat dicegah dengan beberapa cara yang mungkin untuk dijalankan, diantaranya:

- Melakukan rekayasa desain pond guna memaksimalkan sistem filtrasi silika sehingga kadar silika terlarut saat ini yaitu sebesar 290 ppm dapat turun lagi mendekati nilai 170 ppm.
- Melakukan pengasamaan *brine* ketika mulai

dialirkan dengan injeksi asam kuat dalam takaran tertentu guna memperkecil laju penebalan dan menghilangkan *scaling* yang terbentuk di dinding pipa. Cara ini cukup umum digunakan akan tetapi cara ini juga membawa resiko korosi dan pencemaran lingkungan yang harus dipertimbangkan oleh perusahaan terkait.

c) Melakukan pembasaan *brine* selama tertampung di kolam penampungan (pond) sebelum proses injeksi berlangsung guna meningkatkan reaksi pengendapan yang terjadi sehingga kadar silika terlarut dalam *brine* ketika diinjeksikan sudah turun jauh mencapai 170 ppm atau bahkan lebih kecil lagi. Cara ini menurut peneliti merupakan cara yang paling efektif karena tidak menghasilkan resiko apapun. Pembasaan *brine* yang bertujuan untuk menaikkan nilai pH dapat dilakukan dengan cara menginjeksikan senyawa basa kuat semisal KOH, BaOH, CaOH₂ dll. Dalam hal ini pembasaan dengan larutan CaOH₂ sangat mungkin untuk dilakukan karena larutan CaOH₂ dapat dibuat dengan cara mencampurkan batu gamping ke dalam *brine* dengan takaran tertentu. Cara ini mudah untuk dilakukan karena batu gamping merupakan bahan bangunan yang umum tersedia di pasaran dengan harga yang terjangkau, selain mudah cara ini juga dianggap tidak menyebabkan pencemaran lingkungan (air tanah) apabila dibandingkan dengan metode pengasaman *brine*.

VI. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan dengan menggunakan data-data yang diperoleh selama penelitian, maka kesimpulan yang dapat diambil antara lain :

- 1) *Scaling* silika berpotensi terjadi di sepanjang jalur pipa injeksi *brine* yang menghubungkan sumur produksi 7 ke sumur injeksi 33 pada lapangan panas bumi Dieng dengan laju penebalan yaitu sebesar 9,52 cm/tahun.
- 2) Parameter-parameter yang berpengaruh terhadap proses pembentukan *scaling* silika dapat dikelompokkan menjadi dua jenis yaitu

parameter kimia dan parameter fisika. Parameter kimia yang berpengaruh terhadap proses pembentukan *scaling* adalah : Kadar silika terlarut dalam *brine* (ppm) dan pH *brine*. Sedangkan parameter fisika yang berpengaruh terhadap proses pembentukan *scaling* adalah : Suhu *brine* dan Laju alir massa *brine* atau *flowrate brine*

- 3) Berdasarkan hasil analisis, kadar silika terlarut dalam *brine* dan suhu *brine* mula-mula hanya mempengaruhi posisi pembentukan *scaling* dan tidak mempengaruhi laju penebalan *scaling*. Semakin tinggi kadar silika terlarut dalam *brine* maka semakin besar potensi terjadinya *scaling* silika di jalur pipa injeksi *brine* sedangkan semakin tinggi suhu *brine* mula-mula, potensi pembentukan *scaling* di sepanjang jalur akan semakin kecil.
- 4) *Scaling* silika berpotensi untuk tidak terjadi di sepanjang jalur injeksi *brine* apabila kandungan silika terlarut dalam *brine* ≤ 170 ppm dan atau suhu *brine* mula-mula = 100 °C.
- 5) Berdasarkan hasil analisis, parameter pH sangat berpengaruh terhadap laju penebalan *scaling* namun parameter pH tidak berpengaruh terhadap posisi dimana *scaling* mulai terbentuk di sepanjang jalur pipa. Semakin kecil pH (*brine* bersifat asam) maka laju penebalan *scaling* akan semakin kecil.
- 6) Berdasarkan hasil analisis, parameter laju alir massa *brine* yang pada pemodelan ini diwakili oleh parameter *flow-rate* juga berpengaruh terhadap laju penebalan *scaling* namun tidak berpengaruh terhadap posisi *scaling*. Pengaruh variasi *flowrate* terhadap laju penebalan *scaling* per tahun tidak terlalu signifikan apabila dibandingkan oleh pengaruh pH. Semakin kecil *flowrate brine* maka laju penebalan *scaling* per tahun akan semakin kecil (berbanding lurus).
- 7) Dari keempat parameter tersebut, parameter pH *brine* merupakan parameter yang paling berpengaruh terhadap proses pembentukan *scaling* yang terjadi.
- 8) Upaya pencegahan terjadinya *scaling* silika pada jalur injeksi *brine* (PAD 7-PAD 33) di area Dieng dapat dilakukan dengan merekayasa

nilai pH *brine*, baik dengan cara pengasaman *brine* di jalur injeksi untuk menurunkan nilai pH atau dengan pembasaan *brine* di kolam penampungan (*Pond 7*) untuk menaikkan nilai pH.

REFERENSI

- [1] Mangara P.Pohan dan Hutamadi R. "Penelitian Mineral pada Lapangan Panas Bumi Daerah Dieng, Kabupaten Banjarnegara, Provinsi Jawa Tengah". Kelompok Program Penelitian Konservasi, Pusat Sumber Daya Geologi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, Bandung, 2012.
- [2] Nenny Miryani Saptadji. Teknik Panas Bumi. Departemen Teknik Perminyakan Fakultas Teknologi Kebumihan dan Teknologi Mineral Institut Teknologi Bandung, 2009.
- [3] Tohoku Electric Power Co., Inc. *Preventions and Solutions for the Scale Problem at the Geothermal Power Plant and CDM Study in Indonesia*. 2006.
- [4] Sapto Ciptadi dan Salvius Patangke. "Evaluasi Potensi Silika Scaling Pada Pipa Produksi Lapangan Panasbumi Lahendong – Sulawesi Utara". Proceeding Of The 5th Inaga Annual Scientific Conference & Exhibitions, Yogyakarta, 2001.
- [5] Thrainn Fridriksson dan Sverrir Thorhallson. "Geothermal Utilization: Scaling And Corrosion". Iceland Geo Survey, Iceland. 2007.
- [6] C.H. van der Weijden. "Cahiers of geochemistry Silica I : Silicon Analytical, Physical and Terrestrial Geochemistry", Department of Geosciences – Geochemistry Utrecht University, Netherland. 2007.
- [7] Ronald Dipippo. "Geothermal Power Plant, Principle, Applications, Case Study And Environmental Impact Second Edition". University of Massachusetts Dartmouth, North Dartmouth, Massachusetts, 2008.
- [8] Michael J.Moran dan Howard N.Saphiro. Termodinamika Teknik. Erlangga, Jakarta, 2003.
- [9] Yunus. A.Cengel. *Heat Transfer: A Practical Approach Second Edition*. McGraw-Hill Science, 2002.