



Analisa Indikasi Pembentukan *Scaling* Berdasarkan Simulasi Numerik Sumur Panas Bumi

Herianto*, M. Th. Kristiati, Bambang Bintarto, dan Dewi Asmorowati

Program Studi Teknik Perminyakan, FTM, UPN "Veteran" Yogyakarta, Jl. SWK 104 (Lingkar Utara)
Condongcatur, Yogyakarta 55283

*E-mail : herianto_upn_ina@yahoo.com

Abstract

Scaling is one of the problems commonly found during geothermal fluid production. Scaling can form in production wells, two-phase pipes, and geothermal reinjection wells. Scaling in geothermal production wells is formed due to fluid from the reservoir which has been saturated by silica changing phases into two phases so that the sediment is formed. Scaling in geothermal production wells can reduce the diameter in the wells resulting in a decrease in geothermal fluid production. Scaling deposition is influenced by several factors, namely the concentration of silica in the fluid, pressure, and temperature. In this study, pressure and temperature decreases in the wells during the production process were analyzed using the CMG-STARs simulator. Based on the pressure and temperature data, the tendency for scaling to form is estimated based on the calculation of the Silica Scaling Index at several well depth intervals. Based on the SSI value, it is known that intervals that have the potential for scaling are at a depth of 50 m - 450 m and 967 m - 1745.5 m. Dryness and SSI values decreased at an interval of 550 m - 873 m because there was a zone of feed zone at a depth of 820 m.

Keywords : *silica scaling index, geothermal well, CMG-STAR modeling*

Pendahuluan

PLTP "Y" Unit 1 dan Unit 2 mengalami penurunan sebesar 15% pertahun akibat adanya penurunan suplai uap dari sumur-sumur produksi. Salah satu hal yang menyebabkan berkurangnya pasokan uap pada sumur panas bumi "X" di PLTP "Y" adalah adanya pengendapan silika pada dinding sumur. Pengendapan *scale* ini pada umumnya terjadi akibat adanya *flashing process*, yaitu perubahan fasa fluida di mana air panas berubah fasa menjadi uap di dalam lubang sumur. Sumur "X" adalah salah sumur produksi dua fasa di PLTP "Y". Sehingga pada sumur tersebut ada peluang terbentuknya *scaling*. Analisa kimia dan aliran fluida dilakukan untuk mengetahui kecenderungan Sumur "X" untuk membentuk *scale*.

Pembentukan *scaling* dipengaruhi oleh sifat kimia fluida, serta tekanan dan temperatur. Oleh karena itu, pada penelitian ini, kecenderungan pembentukan *scale* diidentifikasi oleh analisa kimia dan analisa termodinamika fluida produksi ketika mengalir di dalam sumur. Kecenderungan tersebut ditunjukkan dengan nilai *Silica Scaling Index* (SSI).

Dasar Teori

Silica Scaling

Scale adalah deposisi padat yang terbentuk dari presipitasi kimia komposisi cairan pada reservoir panas bumi. *Scaling* adalah masalah umum yang kerap dihadapi dalam industri panas bumi terutama dalam sumur produksi dan injeksi, pipa, serta pembangkit listrik. Deposisi padatan ini mengurangi diameter di dalam lubang sumur (*casing*) dan pipa pada fasilitas produksi.

Silika merupakan komponen yang umum ditemukan di fluida panas bumi. Silika biasanya ditemukan pada sistem panas bumi temperatur tinggi. Di dalam reservoir, konsentrasi silika pada fluida panas bumi dikontrol oleh kelarutan kuarsa yang naik seiring naiknya temperatur.

Silika ada pada bentuk yang berbeda-beda di antaranya kuarsa, tridimit, kristobalt, silika amorf, dan lainnya. Kuarsa adalah bentuk utama dari silika yang ada di alam. Pada batuan reservoir panas bumi dan sekitarnya banyak mengandung kuarsa dan akan terlarut dalam air panas yang ada pada reservoir. Di atas 230°C pada kondisi tertentu, kuarsa berada pada kesetimbangan antara bentuk padat atau sebagai zat terlarut.



Larutan silika umumnya terdapat dalam bentuk asam silikat. Hal ini secara stoikiometri sama dengan 2 hidrat air dan silika membentuk molekul asam silikat, H_4SiO_4 , seperti terlihat dalam reaksi di bawah ini:



Dalam keadaan setimbang, reaksi tergantung pada suhu dengan mengikuti persamaan Fournier dan Rowe (1977)

$$\log C = -13109/T + 5.19 \quad (1)$$

Persamaan di atas berlaku pada temperature antara 0 °C sampai 250 °C. Kelarutan silika pada tekanan uap air jenuh mencapai maksimum sekitar 340 °C pada air murni. Persamaan untuk kelarutan kuarsa dari 20 °C sampai 30 °C di berikan oleh Fournier (1986):

$$t = -42.196 + 0.28831 \cdot C - 3.6685 \times 10^{-4} \cdot C^2 + 3.1665 \times 10^{-7} \cdot C^3 + 77.034 \cdot \log C \quad (2)$$

Silica Scaling Index (SSI)

Silica scaling index (SSI) merupakan indikator pembentukan silika berdasarkan analisa dan termodinamika fluida. SSI merupakan perbandingan konsentrasi silika amorf dengan konsentrasi silika di dalam fluida. Rumus SSI yaitu:

$$SSI = \frac{S_t}{S_c} \quad (3)$$

Konsentrasi silika dalam fluida (S_c) ditentukan berdasarkan persamaan berikut:

$$S_t = 58400 \times 10^{(-6.116 + 0.01625 \times T_{sat} - 0.00001758 \times T_{sat}^2 + 0.00000005257 \times T_{sat}^3)} \quad (4)$$

Sementara konsentrasi silika dalam fluida diperoleh dari (S_c) diperoleh dari persamaan:

$$S_c = \frac{S_f}{1-x} \quad (5)$$

Pemodelan Reservoir Menggunakan CMG-STARs

CMG (*Computer Modelling Group*) 2002.10 adalah program simulasi reservoir yang dibuat oleh Computer Modelling Group Ltd., Calgary, Canada (CMG, 2003). Program simulasi ini digunakan untuk melakukan simulasi reservoir. Program ini dapat digunakan untuk reservoir satu fasa, dua atau multi fasa dan juga dapat digunakan untuk membuat simulasi dengan dua dimensi atau tiga dimensi.

Simulasi lubang sumur dapat digunakan untuk memodelkan perilaku fisik sumur panas bumi dengan menggunakan *software* CMG-Stars. Data masukan yang digunakan meliputi ukuran pipa selubung, produktivitas *feedzone*, tekanan dan suhu reservoir, kecocokan yang baik untuk survei PTS yang mengalir dan output yang diamati dari sebuah sumur dapat dibuat. Hal ini juga dapat dicocokkan dengan penurunan produksi sumur untuk memahami kemungkinan perubahan yang menyebabkan penurunan ini.

Simulasi lubang sumur pada penelitian ini terdiri dari tiga langkah yaitu *sink source*, SAM (*Semi-Analytical Wellbore Model*) dan Flexwell. Model lubang bor ini diambil dari CMG Training – Advanced Wellbore Model (CMG, 2013) menggunakan STARS yang digunakan untuk aplikasi SAGD. Setiap langkah pemodelan lubang sumur memiliki beragam tujuan untuk menentukan kondisi cairan di lubang sumur. SAM dan Flexwell dilakukan setelah *history matching*.

1. Sink Source

Sink Source adalah langkah pertama pemodelan sumur bor dalam model ini. Tujuan dari *sink source* adalah untuk menghasilkan sumber fluida dan sumber panas dari model. *History matching* untuk tekanan, laju gas dan cairan, dan entalpi juga dipengaruhi oleh *sink source*.

2. SAM (Semi-Analytical Wellbore Model)

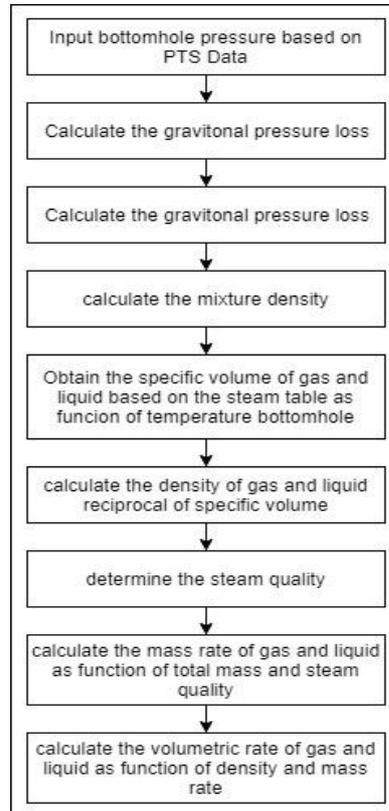
Fungsi analisa SAM adalah untuk menghitung penurunan tekanan dan kehilangan panas dari kepala sumur ke kedalaman lapisan berlubang (CMG, 2003). Prinsip dasar lubang menggunakan persamaan momentum dan keseimbangan energi diselesaikan untuk setiap bagian lubang sumur dalam perhitungan SAM. Parameter yang paling penting adalah tekanan dan entalpi sebagai variabel utama. Rezim aliran ditentukan sesuai dengan kecepatan cairan dan gas dan kemiringan pipa.

3. Flexwell

Ada dua bagian utama dalam mendefinisikan fitur Flexwell yaitu: *Casing Properties* dan *Casing Diameter*. Properti selubung terdiri dari kapasitas panas dinding, konduktivitas panas dinding, kapasitas panas semen, konduktivitas panas semen, kekasaran relatif, dan Angka Nusselt maksimum. Nilai *default* dipilih untuk mendefinisikan properti *casing*.

Pengukuran Pressure dan Temperature

Tekanan kedalaman referensi ini diidentifikasi dengan menggunakan tekanan mengalir dari data sumur PTS. Setelah itu, tekanan ini dikategorikan ke dalam kehilangan tekanan gravitasi, kehilangan tekanan gesekan, dan kehilangan tekanan percepatan. Di dalam simulator, kehilangan tekanan dan temperatur diukur berdasarkan korelasi Hasan dan Kabir (2002), Bjornsson dan Bodvarsson (1988). Kerapatan fluida uap dan air yang diperoleh mengacu pada suhu lubang dasar berdasarkan tabel uap, yang kebalikan dari volume spesifik mewakili kerapatan cairan dan gas. Kemudian, setiap laju volumetrik cairan dan gas dapat ditentukan (Hasan dan Kabir, 2010).



Gambar 1. Prosedur Penentuan Aliran di Dalam Sumur

Metodologi Penelitian

Analisa kimia dan Pemodelan Sumur "X" menggunakan *software* CMG STARS di dalam sumur untuk memperoleh kecenderungan terbentuknya silika pada Sumur "X". Analisa kimia dilakukan untuk memperoleh kelarutan silika di dalam fluida. Kelarutan silika berbeda-beda pada setiap nilai tekanan dan temperatur.

Kecenderungan tersebut ditunjukkan dengan nilai *Silica Scaling Index* (SSI). SSI merupakan perbandingan antara konsentrasi silika dalam larutan dengan kelarutan silika amorf pada kondisi yang sama. Nilai SSI >1 menunjukkan ada indikasi terbentuknya *scaling* pada keadaan tersebut. Sementara nilai SSI pada suatu keadaan menunjukkan angka <1, maka *scaling* tidak terbentuk.

Pemodelan sumur dengan *software* CMG digunakan untuk mengetahui perilaku termodinamika fluida panas bumi selama produksi. Besarnya nilai tekanan dan temperatur di sepanjang lubang sumur digunakan untuk data perhitungan SSI.

Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini mengambil studikamus sumur "X" Lapangan "Y". Sumur "X" Lapangan panas bumi "Y" merupakan sumur dua fasa yang di bor pada tahun 1997. Sumur ini memiliki kedalaman 2306 mMD. Sumur ini memiliki laju produksi inisial sebesar 109,5 kg/s dengan entalpi sebesar 1574,5 kJ/kg pada WHP 12,1 barg. Namun pada perjalanannya, produksi sumur ini tidak seperti yang di harapkan, pada tahun 2014 laju produksi sumur mencapai 26,4 kg/s. Dari hasil analisa geokimia Sumur "X" diperoleh konsentrasi SiO₂ dari fluida produksi sebesar 639,36 ppm, konsentrasi Cl 16875 ppm.

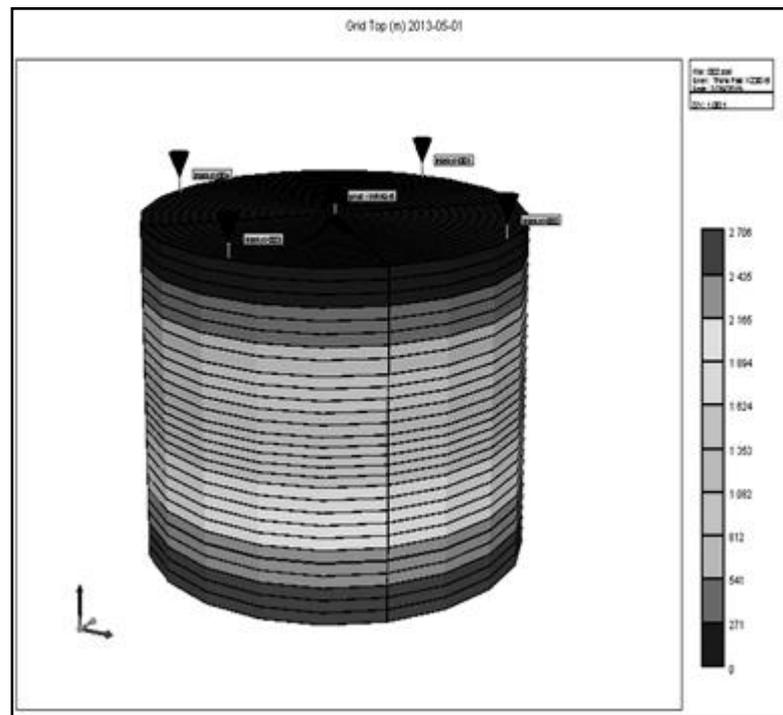
Pemodelan Sumur

Sifat-sifat porositas, permeabilitas dan saturasi diasumsikan homogen dalam simulasi ini. Nilai porositas berdasarkan penelitian sebelumnya dan nilai rata-rata dalam pemodelan reservoir dinamis dalam sumur ini adalah 0,07. Rentang permeabilitas cukup tinggi di lapangan panas bumi ini. Nilai permeabilitas k_i , k_j , dan k_k dibahas lebih lanjut dalam analisis sensitivitas. Saturasi air dalam simulasi ini diatur dengan nilai 0,15. Data *input* simulator dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Input *Array Properties*

Parameter	Nilai
Porosity	0,07
Horizontal Permeability (I, J)	100
Vertical Permeability (K)	50
Gas Saturation	0,3
Water Saturation	0,15
Oil Saturation	0
Null Blocks	1
Volume Modifiers	1000
Water Mole Frac. (WATER)	0,999892
Water Mole Frac. (SiO ₂)	0,000108143

Setelah membuat bentuk *grid* silindris, langkah selanjutnya adalah dengan menentukan ketebalan dan kedalaman layer. Pada sumur "X", perforasi dilakukan mulai pada kedalaman 800 m yang kemudian di definisikan sebagai layer 9. Pada sumur "X" terdapat 3 *feedzone* di mana *major feedzone* adalah pada kedalaman 800 m dengan ketebalan 30 m. berikut adalah data *input* ketebalan dari *grid* model "X". Gambar model Sumur "X" dalam simulator dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Model Reservoir 3D

Membangun model sumur "X" dan juga formasi di sekelilingnya yang menjadi suplai air/uap pada reservoir dan juga mempengaruhi perpindahan panas antara sumur "X" dengan formasi di sekitarnya. Pada luasan sistem yang dibangun. Diasumsikan dari masing-masing *Grid* adalah 20 m yang kemudian di kalikan 100 *Grid* menjadi 2000 m ke arah horizontal. Sedangkan pada arah vertikal, *Grid* ini di buat dengan jumlah 30 *grid* pada k-*grid* yang terdiri dari 24 *grid* untuk sumur dan 6 *grid* tiruan. 6 *grid* tersebut kemudian di bagi lagi menjadi 3 *grid* kosong dan 3 *grid* reservoir. Tujuan pembuatan *grid* tiruan tersebut adalah untuk memodelkan reservoir panas bumi yang termasuk di dalamnya suplai air dan sumber panas. Pembagian *grid* dan *cross section* model dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Lokasi Grid Sumur Injeksi dan Produksi

Grid	Produksi	Injeksi			
	"X"	1	2	3	4
I	1	20	20	20	20
J	1	1	2	3	4
K	9-24				

Hasil Simulasi dan Perhitungan SSI

Hasil dari Simulasi Flexwell yang digunakan untuk perhitungan SSI adalah tekanan, temperatur, dan tiap kedalaman. Analisa kimia fluida produksi, diperoleh konsentrasi silika sebesar 636,36 ppm. Maka dapat dihitung nilai konsentrasi silika amorf (St) dan konsentrasi silika (Sc) dalam fluida. Nilai tekanan dan temperatur dan perhitungan SSI dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Data Input Array Properties

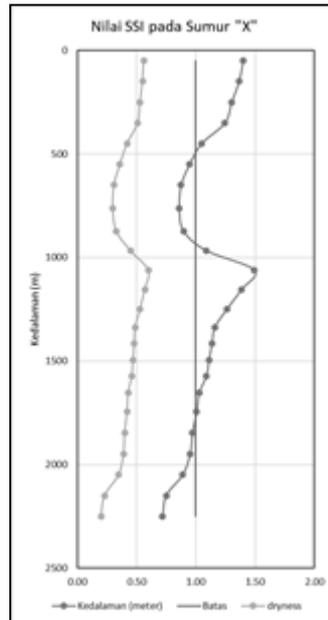
Kedalaman (m)	Tekanan (bar)	Temperatur (°C)	X	St (ppm)	Sc (ppm)	SSI
50,00	22,88	218,28	0,56	1039,48	1453,09	1,40
150,00	23,09	218,76	0,55	1042,58	1420,80	1,36
250,00	23,29	219,23	0,53	1045,67	1360,34	1,30
350,00	23,50	219,71	0,51	1048,77	1304,82	1,24
450,00	23,72	220,19	0,42	1051,90	1102,34	1,05
550,00	23,93	220,68	0,36	1055,05	999,00	0,95
650,00	24,15	221,17	0,31	1058,23	926,61	0,88
763,00	24,41	221,74	0,30	1061,90	913,37	0,86
873,00	24,67	222,31	0,33	1065,60	954,27	0,90
967,00	24,89	222,80	0,45	1068,80	1162,47	1,09
1061,00	25,12	223,30	0,60	1072,02	1598,40	1,49
1155,00	25,36	223,80	0,57	1075,25	1486,88	1,38
1249,50	25,59	224,30	0,53	1078,50	1360,34	1,26
1336,50	25,81	224,76	0,49	1081,44	1253,65	1,16
1415,50	26,00	225,16	0,48	1083,99	1229,54	1,13
1494,50	26,18	225,55	0,47	1086,53	1206,34	1,11
1573,50	26,37	225,95	0,46	1089,07	1184,00	1,09
1654,00	26,57	226,35	0,43	1091,70	1121,68	1,03
1745,50	26,80	226,84	0,42	1094,81	1102,34	1,01
1846,50	27,06	227,37	0,40	1098,22	1065,60	0,97
1947,50	27,32	228,63	0,39	1101,53	1048,13	0,95
2048,50	27,56	242,67	0,35	1104,74	983,63	0,89
2149,50	27,81	243,48	0,23	1107,85	830,34	0,75
2250,00	28,05	244,33	0,20	1110,93	799,20	0,72

Berdasarkan hasil perhitungan diketahui nilai SSI bervariasi di sepanjang sumur. Pada kedalaman 50 m – 450 m, nilai SSI > 1 yang menunjukkan ada indikasi terjadinya *scaling*. Pada kedalaman 550 m – 873 m nilai SSI < 1 yang artinya pada interval tersebut kecenderungan terbentuk *scaling* rendah. Pada kedalaman 967 m – 1745.5 m, nilai SSI kembali naik hingga >1, menunjukkan kecenderungan terbentuknya *scaling*. Tetapi, pada kedalaman 1846.5 m – 2250 m nilai SSI kembali menurun hingga <1 yang mengindikasikan kecenderungan *scaling* yang rendah.

Apabila dikorelasikan antara nilai SSI dengan nilai *dryness*. Diketahui keduanya berbanding lurus, artinya apabila nilai *dryness* naik, maka nilai SSI juga naik. Hal ini berkaitan dengan proses *flashing*, yaitu perubahan fasa fluida dari cair menjadi uap akibat penurunan tekanan dan temperatur. Adanya *flashing* menyebabkan fasa cair menjadi jenuh akan silika.

Pada umumnya, nilai *dryness* akan semakin besar pada setiap kenaikan elevasi, atau semakin mendekati permukaan. Hal ini disebabkan oleh adanya penurunan tekanan yang semakin besar sehingga cairan berubah menjadi uap. Akan tetapi pada Sumur "X" nilai *dryness* bervariasi dari permukaan hingga ke dasar sumur.

Anomali nilai *dryness* berada pada kedalaman 550 m – 873 m. Di mana seharusnya nilai *dryness* terus naik, tetapi pada keadaan tersebut nilainya turun. Hal ini disebabkan oleh adanya *feedzone* pada kedalaman 820 m yang menyebabkan fasa cair di dalam sumur meningkat. Hubungan antara *dryness* dan SSI dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Nilai *dryness* dan SSI pada sumur "X"

Kesimpulan

1. Model Sumur "X" di buat menggunakan *software* CMG-STARs dengan bentuk tabung dan luasan sistem yang di bangun adalah 2000 m ke arah horizontal dan 3000 m ke arah vertikal. Model "X" dibagi menjadi 30 *grid*. Pada arah *k-grid* yang terdiri dari 24 *grid* untuk sumur dan 6 *grid* tiruan.
2. Berdasarkan nilai, diketahui interval yang berpotensi terjadi *scaling* adalah interval yang memiliki SSI > 1, yaitu pada kedalaman kedalaman 50 m – 450 m dan 967 m – 1745.5 m.
3. Nilai *dryness* berbanding lurus dengan nilai SSI. Hal ini berkaitan dengan *flashing* yaitu perubahan fasa cair menjadi fasa uap. Nilai *dryness* dan SSI menurun pada interval 550 m – 873 m karena terdapat zona *feedzone* pada kedalaman 820 m.
4. Berdasarkan hasil simulasi, terlihat bahwa distribusi *scale* di dalam sumur panas bumi tidak merata, karena tergantung pada fasa fluida.

Daftar Notasi

C	= konsentrasisilika [mg/kg]
T	= temperatur absolut [K]
t	= temperatur [°C]
St	= konsentrasisilika terlarut [ppm]
Sc	= konsentrasisilika amorf [ppm]
$Tsat$	= temperatur saturasi [°C]
Sf	= Konsentrasisilika dalam fluida [ppm]
x	= <i>dryness factor</i> [fraksi]

Daftar Pustaka

- Hasan AR, Kabir S. Fluid flow and heat transfer in wellbores. Society of Petroleum Engineers. Richardson, Texas; 2002
- Hasan AR, Kabir S. Modeling two-phase fluid and heat flows in geothermal wells. Journal of Petroleum Science and Engineering. Elsevier 2010; 71 (1-2): 77-86.
- Bjornsson S, Bodvarsson G. Reservoir rock properties of existing geothermal fields. 1988
- CMG. User's guide stars advanced process and thermal reservoir simulator. Computer Modelling Group Ltd. Calgary, Canada. 2009; Vol 1 – 2.
- CMG. Advanced wellbore modelling using cmg-stars. Computer Modelling Group Tutorial. Calgary, Canada. 2013
- Fournier RO. Reviews in economic geology. In: Berger, B.R., Bethke, P.M.(Eds.) Geology and Geochemistry of Epithermal Systems. Society of Eco-nomic Geologists 1986; 2: 45–61.
- Fournier RO, Rowe J. Solubility of amorphous silica in water at high temperatures and high pressure. Am. Mineral. 1977; 62: 1052–1056.



Lembar Tanya Jawab

Moderator : **Adi Ilcham (UPN "Veteran" Yogyakarta)**
Notulen : **Heni Anggorowati (UPN "Veteran" Yogyakarta)**

1. Penanya : Adi Ilcham (UPN "Veteran" Yogyakarta)
Pertanyaan : Bagaimana pengaruh *scaling* dalam sumur panas bumi?
Jawaban : Sumur panas bumi memproduksi uap panas dari reservoir melewati sumur – sumur kemudian uap panas dimasukkan ke dalam separator untuk memisahkan uap panasnya kemudian uap panas ini dialirkan ke turbin yang nanti akan menghasilkan tenaga listrik, besarnya tenaga listrik dipengaruhi oleh aliran massa dan entalpi. Penyebab laju aliran massa (berat fluida yang mengalir per waktu) yang melambat atau mengecil ini karena adanya *scaling* di pipa alir sumur. Dengan terbentuknya *scaling* maka diameter lubang bor akan mengecil, jika mengecil 20% maka laju alir juga akan berkurang 20% karena hubungan antara luas penampang, kecepatan dan laju alir. Jika luas penampang mengecil maka laju alir juga akan mengecil. Dengan mengetahui *pressure drop* nya kita bisa mengetahui titik mana saja di dalam sumur yang mengalami *scaling*.

