

EKSPERIMEN PENGKONDISIAN BRINE DI LINGKUNGAN BASA PADA SKALA LAB UNTUK PENCEGAHAN SILICA SCALING DI SUMUR INJEKSI PADA KOLAM PENAMPUNGAN DI PLTP DIENG JAWA TENGAH

CUKUP MULYANA*, RAMDANI, NOWO RIVELI

*Departemen Fisika, FMIPA, Universitas Padjadjaran
Jl. Raya Bandung-Sumedang Km.21 Jatinangor 45363, Sumedang, Jawa Barat*

* email : c.mulyana55@yahoo.com

Abstrak. Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) berdominasi air di Dieng memiliki permasalahan dengan pengendapan silika (*silica scaling*), yang terjadi ketika brine keluar dari separator untuk diinjeksikan kembali ke perut bumi. Endapan silika menyumbat rekahan batuan tempat jalur lewatnya air, akibatnya kebutuhan debit air sumber panas bumi terganggu. Konsentrasi silika terlarut dalam brine di PLTP Dieng 1400 mg/L, ketika terjadi penengendapan silika kinerja PLTP terganggu ditandai dengan menurunnya daya pembangkit yang dihasilkan. Penanggulangan yang selama ini dilakukan adalah menampung terlebih dahulu *brine* di kolam penampungan, membiarkannya untuk beberapa lama agar silikanya mengendap baru diinjeksikan ke perut bumi. Tulisan ini melaporkan hasil penelitian perlakuan terhadap sampel *brine* yang diambil dari lapangan di PLTP Dieng dalam keadaan basa yang dilakukan di laboratorium. Tujuannya adalah mendapatkan pada kondisi pH berapa silika akan efektif mengendap yang kemudian kelarutannya tetap stabil. Selain itu dicari jenis inhibitor basa apa yang terbilang efektif untuk perlakuan ini. Langkah eksperimen yang dilakukan adalah mengambil sampel *brine* yang berada di Dieng. Pertama dilakukan pembuatan larutan kerja dari hasil pengenceran natrium metasilika yang diperlukan untuk pembuatan kurva standar absorbansi terhadap konsentrasi silika terlarut. Selanjutnya dilakukan pembuatan sampel *brine* dengan beberapa pengenceran dan diuji kandungan silika terlarutnya. Langkah berikutnya dilakukan pengkondisian lingkungan basa untuk *brine* yaitu dengan menambahkan basa kuat NaOH dan KOH untuk beberapa nilai pH. Selanjutnya diukur kembali sifat kelarutan silikanya sebagai fungsi waktu. kemudian dilakukan pengujian dengan larutan reagen molibdosilikat, larutan HCl dan larutan asam oksalat. Konsentrasi silika dalam sampel *brine* diperoleh melalui pengukuran absorbansi dengan menggunakan spektrofotometer UV/Vis pada panjang gelombang 410 nm. Berdasarkan hasil penelitian konsentrasi silika yang dalam *brine* yang keluar dari separator berkisar antara 1312,42 mg/L - 1330,89 mg/L. Kemudian dari hasil pengkondisian lingkungan basa di pH 9, NaOH dapat menurunkan konsentrasi silika 49,12 %, sedangkan pengkondisian lingkungan basa dengan KOH di nilai pH 9,5 dapat menurunkan konsentrasi silika 18,84 %.

Kata kunci : Brine, Silica Scaling, Absorbansi, Konsentrasi Silika, Molibdosilikat

Abstract. Geothermal power plants (PLTP) in Dieng are having the problems of silica deposition (*silica scaling*), which occurs when the brine comes out from the separator and get injected back to earth. Silica precipitates clog the rocks fracture in the path passed by the water, resulting in the lack of water debit needed to discharge the geothermal sources. The concentration of dissolved silica in the brine of PLTP Dieng is 1400 mg / L, silica scaling would disturb the performance of the powerplant, as indicated by the decreasing generated power. Countermeasures that have been done is to temporarily collect the brine in a storage pond to let the silica settles, before injecting it into the the earth bowels. This paper reports the studies of PLTP Dieng brine samples properties in a basified condition. The goal is to get a pH value where silica will be effectively settled, which then its

solubility will remains stable. Also to look for the most effective base inhibitor for this particular treatment. The experimental steps started with taking a brine sample from Dieng. Then, proceed with preparation of a working solution from the resultant of sodium metasilicate dilution, which is required to compute the standard absorbance curve with respect to dissolved silica concentration. Furthermore, brine samples were made with several solubility, and tested the dissolved silica content were tested. The next step is to condition a basic environment for the brine by adding a strong base of NaOH and KOH for certain pH values. Next is to measure again its silica solubility as a function of time, then tested with molybdosilicate reagent solution, HCl solution and oxalic acid solution. The silica concentration in brine samples was obtained through absorbance measurements by using UV / Vis spectrophotometer at 410 nm wavelength. Based on the results this experiment, the silica concentration in brine that came out from the separator ranged from 1312.42 mg / L - 1330,89 mg / L. While by introducing a basic environment through a pH 9 NaOH, silica concentration decreases by 49,12%, and through KOH at pH value 9,5 silica concentration decreases by 18,84%.

Keywords : Brine, Silica Scaling, Absorbance, Silica Concentration, Molibdosilicate

1. Pendahuluan

Menipisnya cadangan energi fosil di Indonesia menyebabkan berbagai upaya dilakukan untuk mencari energi pengganti. Energi *Geothermal* menjadi memiliki peluang untuk menggantikan energi fosil karena jumlahnya yang melimpah, mudah untuk diubah menjadi energi listrik dalam skala besar, dan termasuk *green energy* dengan tingkat polusi yang amat rendah [1]. Sebagian besar sumber tenaga geothermal di Indonesia bersifat dominasi air [2]. Permasalahan yang dihadapi oleh pembangkit berdominasi air adalah timbulnya pengendapan silika yang banyak terjadi di berbagai tempat seperti pada pipa injeksi atau di antara posisi sebelum dan setelah separator. Sumber tenaga panas bumi Dieng yang berada di Jawa tengah memiliki permasalahan dengan pengendapan silika (*silica scaling*). Konsentrasi silika yang terlarut dalam fluida *geothermal (brine)* terbilang tinggi sebesar 1400 mg/L [2,7]. Sejumlah pipa tersumbat oleh endapan silika sehingga tidak diinjeksikan kembali melalui sumur injeksi namun ketika diinjeksikan *silica* tersebut dapat menutupi rekahan-rekahan perut bumi dapat mengalirkan fluida kerja yang mengganggu kinerja pembangkit dan menurunkan daya listrik yang dihasilkan. Permasalahan lainnya terjadi di bagian pipa injeksi, rekahan batuan yang berfungsi untuk melewati air yang di injeksikan keperut bumi tertutup oleh endapan silika sehingga cadangan air untuk mengisi reservoir panas di perut bumi berkurang [3]. Untuk menanggulangi permasalahan *silica scaling* telah dilakukan penelitian pengkondisian *brine* dalam suasana basa, kemudian diamati sifat kelarutan silikanya yang dilakukan dalam skala lab. Dari hasil penelitian ini diharapkan akan diperoleh nilai pH yang paling efektif dan jenis basa yang tepat untuk menanggulangi permasalahan pengendapan silika di pembangkit listrik tenaga panas bumi Dieng terutama di daerah pipa setelah separator sebelum pipa injeksi.

Silica scaling di pembangkit listrik tenaga *geothermal* umumnya dijumpai pada pipa antara *wellhead* dengan *separator*, pipa *liquid* setelah *separator* dan sumur reinjeksi. Efek dari *silica scaling* mengganggu proses pemanfaatan energi *geothermal* pada *pipelines*, turbin dan sumur injeksi yang mengakibatkan berkurangnya diameter pipa, sehingga mengurangi laju aliran fluida seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1a [5]. Konsentrasi silika terlarut di Dieng Jawa Tengah mencapai 1400 mg/L pada rentang temperatur 76 °C sampai 89 °C dengan pH rentang 3,20 sampai 3,25 [7].

Upaya pencegahan *silica scaling* dilakukan dengan pembasaan *brine* selama tertampung di kolam penampungan (*pond*) seperti yang terlihat pada Gambar 1b sebelum proses injeksi berlangsung guna meningkatkan reaksi pengendapan yang terjadi sehingga kadar *silica* terlarut dalam *brine* ketika diinjeksikan sudah turun mencapai 170 mg/L atau bahkan lebih kecil lagi. Cara ini merupakan cara yang paling efektif karena tidak menghasilkan resiko apapun. Pembasaan *brine* bertujuan untuk menaikkan nilai pH yang dapat dilakukan dengan cara menginjeksikan senyawa basa kuat misalnya KOH, BaOH, CaOH₂, NaOH dan lain sebagainya [2].



(a)

(b)

Gambar 1. (a) Silica Scaling di Pipa Injeksi [8] (b) Kolam Penampungan Brine [3]

2. Metode Penelitian

Tahapan penelitian diawali dengan mengambil sampel *brine* yang keluar dari separator di lapangan PLTP geothermal. Sebelum eksperimen, dilakukan kajian literatur tentang sifat kelarutan silika sebagai fungsi temperatur dan pH, cara penggunaan reagen molibdosilikat untuk mengukur konsentrasi silika terlarut dengan mengukur absorbansi melalui UV/Vis. Alat yang diperlukan adalah sebagai berikut botol plastik 100 ml, magnetik stirer, spektrofotometer UV/Vis, kertas saring 0,45 μm . Sedangkan bahan kimia yang digunakan adalah asam sulfat 12,06 M, amonium molibdat, asam oksalat, natrium metasilika, aquades, natrium hidroksida 4 M, kalium hidroksida 4 M, dan sampel *brine*.

Dipersiapkan tiga larutan reagen yaitu asam klorida (HCl) 1:1 dibuat dengan mencampurkan 50 ml asam klorida dengan pelarut 50 ml, amonium molibdat ((NH₄)₆Mo₇O₂₄ .4H₂O) dibuat dengan mencampurkan 10 gram amonium molibdat dengan pelarut 100 ml dengan pH larutan diatur antara 7 - 8 dengan larutan NaOH diaduk menggunakan magnetik stirer pada temperatur 30°C, selanjutnya asam oksalat (H₂C₂O₄) dibuat dengan mencampurkan 7,5 gram asam oksalat dengan 100 ml pelarut. Tahap berikutnya adalah pembuatan dan pengujian larutan kerja silika. Sebanyak 0,473 gram natrium metasilika nonahidrat (Na₂SiO₃ . 9H₂O) di campurkan dengan 100 ml pelarut yang disebut larutan stok *silica* (100 mgSiO₂/L). Kemudian dibuat larutan standar satandar silika (1 mgSiO₂ sebanyak 1 ml larutan stok *silica* di campurkan dengan 100 ml pelarut, larutan ini di namakan larutan standar *silica* (1 mgSiO₂/L). Selanjutnya sebanyak 0 ml, 5 ml, 10 ml, 15 ml, 20 ml, dan 25 ml larutan standar *silica* 1 mgSiO₂/L di campurkan dengan 100 ml pelarut, larutan ini di namakan larutan kerja *silica*. Sebanyak 50 ml dari larutan kerja *silica* yang sudah di saring, kemudian di lakukan pengujian larutan reagen dengan menambahkan 1 ml asam klorida 1:1 dan 2 ml amonium molibdat kemudian di diamkan selama 5 menit. Selanjutnya di tambahkan kembali 2 ml asam oksalat di

diamkan selama 2 menit. Terakhir di lakukan pengukuran absorbansi menggunakan spektrofotometer UV/Vis pada panjang gelombang 410 nm. (dalam pengukuran larutan kerja *silica* tidak lebih dari 15 menit karena warna pada larutan kerja *silica* tidak akan stabil seperti semula). Seluruh perlakuan ini dilakukan pada semua larutan kerja *silica* dengan volume yang telah ditentukan.

Pengkondisian pH dan pengujian sampel *brine* diawali dengan menyiapkan 60 ml sampel *brine* diukur pH awalnya. Kemudian dilakukan pengkondisian lingkungan basa dengan menambahkan NaOH dan KOH dengan 5 variasi pH 8; 8,5; 9; 9,5 dan 10. Selanjutnya sampel *brine* dipanaskan hingga temperatur 80°C diputar pada rpm 1000 dalam waktu 120 menit. Setiap 30 menit dilakukan pengambilan sampel *brine* sebanyak 10 ml untuk disaring, kemudian diambil 1 ml sampel *brine* untuk dicampur dengan 100 ml pelarut. Selanjutnya 50 ml sampel *brine* diambil kedalamnya ditetaskan 1 ml asam klorida 1:1 dan 2 ml amonium molibdat, di diamkan selama 5 menit. Selanjutnya di tambahkan kembali 2 ml asam oksalat di diamkan selama 2 menit. Terakhir di lakukan pengukuran absorbansi menggunakan spektrofotometer UV/Vis pada panjang gelombang 410 nm. Seluruh perlakuan ini dilakukan pada semua sampel *brine* dengan pH yang telah di tentukan.

Pengukuran absorbansi silika terlarut di dalam *brine* di dalam laboratorium menggunakan spektrofotometer absorpsi UV/Vis yaitu instrumen untuk mengukur absorbansi yang menyerap energi cahaya pada panjang gelombang tertentu oleh atom atau molekul[4]. Menurut hukum lambert beer nilai absorbansi cahayaberbanding lurus dengan dengan konsentrasi dan ketebalan bahan atau medium[6].

$$A = -\log T = \log \frac{i_0}{i} = \varepsilon \times C \times d \quad (1)$$

Dengan A menyatakan koefisien absorbansi, T adalah koefisien transmisi, i_0 dan i menyatakan intensitas pengukuran sebelum atau sesudah melewati sampel, ε adalah koefisien absorbansi molar (cm/mg/L), C konsentrasi larutan (mg/L) dan D adalah ketebalan dari bahan/medium yang di lewati oleh cahaya (cm).

Persamaan 3.1 digunakan untuk menghubungkan nilai konsentrasi yang silika yang terkandung didalam larutan (C) . Nilai hasil pengukuran konsentrasi (C) perlu dikoreksi karena didalam pelarut sudah terkandung silika.

$$C = \frac{(A \times FP) - b}{a} \quad (2)$$

Dengan FP menyatakan faktor pengenceran sebesar 100, a adalah kemiringan kurva dan b merupakan koreksi silika terlarut didalam aquades.

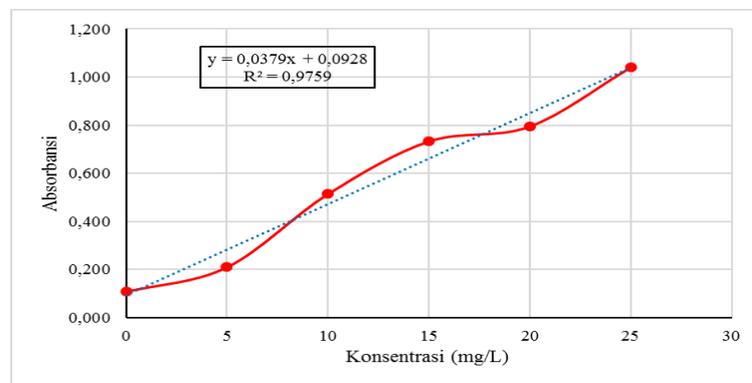
3. Hasil dan Pembahasan

Hasil penelitian dikelompokkan dalam dua bagian yaitu hasil pengukuran absorbansi silika dari larutan kerja silika dan hasil pengukuran absorbansi silika dari *brine* hasil pengkondisian pH. Larutan kerja silika memiliki pH sebesar 7,82 dengan temperatur 23°C. Hasil pengukuran absorbansi dari enam macam konsentrasi larutan kerja silika ditunjukkan pada Tabel 1.

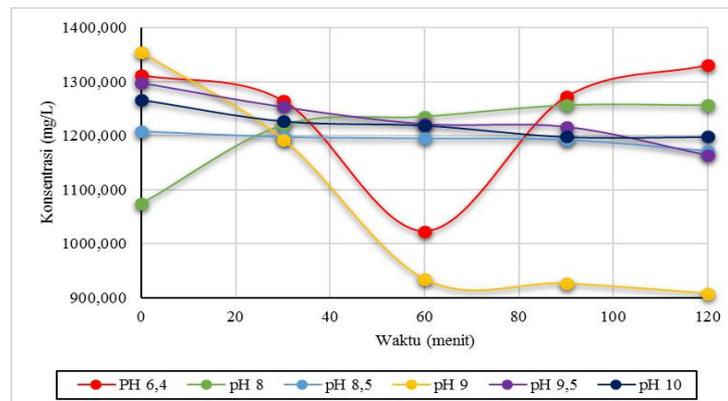
Tabel 1. Hasil Pembuatan dan Pengujian Absorbansi Larutan Kerja Silica

No	pH	Temperatur (°C)	Volume (ml)	Konsentrasi (mg/L)	Absorbansi
1	7,82	23	100	0	0,108
				5	0,210
				10	0,514
				15	0,733
				20	0,795
				25	1,040

Grafik absorbansi terhadap konsentrasi untuk larutan kerja silica ditunjukkan pada Gambar 1.

**Gambar 1.** Grafik Absorbansi terhadap Konsentrasi

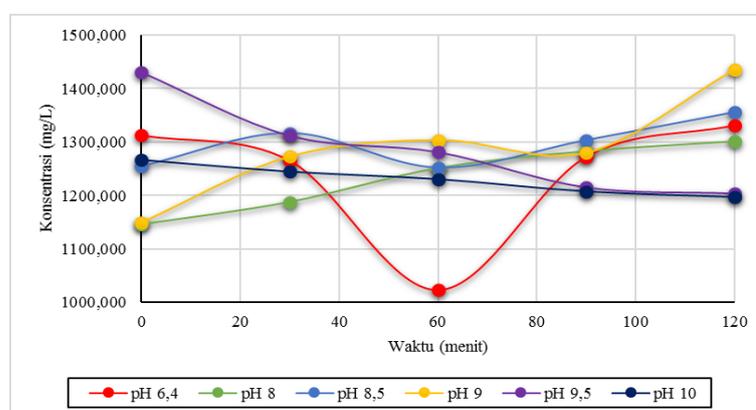
Berikut ini adalah kurva konsentrasi silica terlarut terhadap waktu pada lingkungan basa dari lima jenis pH NaOH yang berbeda yang ditunjukkan dalam Gambar 2. Sedangkan kemiringan untuk masing-masing kurva tersebut ditunjukkan oleh Tabel 2.

**Gambar 2.** Kurva Konsentrasi terhadap Waktu

Tabel 2. Hasil Kemiringan dari Pengkondisian pH dengan NaOH

No	Temperatur (°C)	Volume (ml)	pH	Kemiringan
1			8	1,3369
2			8,5	-0,2639
3	80	60	9	-3,8610
4			9,5	-1,0202
5			10	-0,5541

Sedangkan kurva konsentrasi silika terlarut terhadap waktu pada lingkungan basa dari lima jenis pH KOH yang berbeda yang ditunjukkan dalam Gambar 3. Kemiringan untuk masing-masing kurva tersebut ditunjukkan oleh Tabel 3.

**Gambar 3.** Kurva Konsentrasi terhadap Waktu**Tabel 3.** Hasil Kemiringan dari Pengkondisian pH dengan KOH

No	Temperatur (°C)	Volume (ml)	pH	Kemiringan
1			8	1,3544
2			8,5	0,6245
3	80	60	9	1,9232
4			9,5	-1,8352
5			10	-0,5863

Dari hasil pembuatan dan pengujian larutan kerja *silica* didapatkan kurva standar bakudengan persamaan berikut yang di peroleh dari hasil kurva fitting pada Gambar 1 dengan nilai koefisien korelasi 0,98.

$$y = 0,0379x + 0,0928$$

Kurva absorbansi terhadap konsentrasi yang linier sesuai dengan teori Lambert Beer. Kurva ini di gunakan untuk menentukan nilai konsentrasi larutan sampel *brine* dari hasil pengukuran yang dihubungkan dengan persamaan 1 yang menghasilkan konsentrasi silika terlarut pada persamaan 2. Kurva konsentrasi untuk berbagai macam pH dengan basa NaOH ditunjukkan pada Gambar 2.

Untuk lingkungan basa dengan pH 8 gradien kemiringannya positif berarti konsentrasi silika terlarut meningkat seiring bertambahnya waktu. pH 8 tidak digunakan dalam pengkondisian *brine*. Untuk pH 8,5 sampai 10 gradien kemiringannya negatif berarti konsentrasi silika menurun seiring bertambahnya waktu hal ini menunjukkan terjadinya pengendapan silika. Untuk pH 9 kemiringan dari kurva konsentrasi terhadap waktu paling negatif yaitu sebesar -3,810 berarti jumlah silika yang mengendap paling besar yaitu dalam waktu 120 menit konsentrasi silika terlarut menurun dari 1353,752 mg/L menjadi 907,842 mg/L jumlah silika yang mengendap sebesar 49,118 %. Untuk pH ini kestabilan silika terlarut terjadi setelah 60 menit yaitu di tunjukkan oleh bentuk kurva yang relatif datar mulai dari menit ke 60 hingga 120.

Kurva konsentrasi untuk berbagai macam pH dengan basa KOH ditunjukkan pada Gambar 3. Untuk lingkungan basa dengan pH 8 sampai 9 gradien kemiringannya positif berarti konsentrasi silika terlarut meningkat seiring bertambahnya waktu. pH 8 sampai 9 tidak digunakan dalam pengkondisian *brine*. Untuk pH 9,5 dan 10 gradien kemiringannya negatif berarti konsentrasi silika menurun seiring bertambahnya waktu hal ini menunjukkan terjadinya pengendapan silika. Untuk pH 9,5 kemiringan dari kurva konsentrasi terhadap waktu paling negatif yaitu sebesar -1,8352. Sedangkan untuk pH 10 kemiringan sebesar -0,5863. Sehingga jumlah silika yang mengendap paling besar terjadi pada pH 9,5 yaitu dalam waktu 120 menit konsentrasi silika terlarut menurun dari 1433,597 mg/L menjadi 1206,684 mg/L jumlah silika yang mengendap sebesar 18,843 %. Untuk pH ini kestabilan silika terlarut terjadi setelah 60 menit yaitu di tunjukkan oleh bentuk kurva yang relatif datar mulai dari menit ke 60 hingga 120.

4. Kesimpulan

Kandungan *silica scaling* sebelum kolam penampungan *brine* di PLTP Dieng Jawa Tengah berkisar antara 1312,415 mg/L hingga 1330,885 mg/L. Untuk mencegah terjadinya *silica scaling* pada kolam penampungan, pengkondisian pH *brine* terbaik harus dilakukan pada pH 9 dengan menggunakan natrium hidroksida, dapat menurunkan konsentrasi silika terlarut sebesar 49,118 %.

Ucapan terima kasih

Terima kasih kepada DRPMI Universitas Padjadjaran yang telah membantu dalam menyediakan dana untuk penelitian ini. Selain itu kami ucapkan terima kasih kepada Laboratorium Kimia Fisik dan Anorganik, Laboratorium Analisis dan Pemisahan Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, sehingga penelitian ini dapat terlaksanakan dengan baik.

Daftar Pustaka

1. Indriawati, Katherin dkk, Optimasi Daya Listrik Pada PT Pertamina Geothermal Energy Area Kamojang Jawa Barat.Surabaya:Fakultas Teknologi Industri, ITS.Vol. 1 (2012) p.1-6.
2. Wahyudityo, Rendra dkk, Analisa Scaling Silika Pada Pipa Injeksi Brine Di Lapangan Panas Bumi Dieng Dengan Studi Kasus Di PT.Geo Dipa Energi.Yogyakarta :Fakultas Teknik, Universitas Gajah Mada.Vol.2 (2013) p.1-8.
3. Sukaryadi, Didi, Aspects Of Deposition (Scaling) Of The Binary Cycle Geothermal Power Plants In Dieng Geothermal Field, Central Java.Jakarta Selatan:Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Ketenagalistrikan , Energi Baru, Terbarukan, dan Konservasi Energi.Vol. 12 (2013) p. 1-10.
4. Andhika, Muhammad, Studi Pengaruh PH Dan Penggunaan Inhibitor Terhadap Pembentukan Kerak Silika Pada Sampel Air Panas Bumi Lahendong. Depok : Departemen Kimia, Universitas Indonesia (2005).
5. Permana, M. A. Indra, Upaya Penanggulangan Silica Scaling Pada Pembangkit Listrik Geothermal Multi Flashing.Jatinangor:Universitas Padjadjaran (2017).
6. Mantale, Werner, E. Deniz, UV-VIS Absorption Spectroscopy: Lambert-Beer Reloaded.Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy Vol.173 (2017) p. 965-968.
7. Pambudi, N. Agung dkk, The Behavior of Silica In Geothermal Brine From Dieng Geothermal Power Plant, Indonesia.Geothermics Vol. 54 (2015) p. 109-114.
8. Pambudi, N. Agung dkk, Sustainability of Geothermal Power Plant Combined with Thermodynamic And Silica Scaling Model. Geothermics Vol. 71 (2018) p. 108-117.