

## **Pengembangan Simulasi Pada Parameter Suhu Jalur Injeksi Brine di *Production Optimizaton Unit (POU)* PT.XYZ**

Fadil Ansori Lubis<sup>1</sup>, Rahmat Subarkah<sup>1\*</sup>, dan Arifia Ekayuliana<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Pembangkit Tenaga Listrik, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

\*Corresponding author: [rahmat.subarkah@mesin.pnj.ac.id](mailto:rahmat.subarkah@mesin.pnj.ac.id)

**Artikel info:** Diterima: 02 September 2022 | Disetujui 20 Desember 2022 | Tersedia online: 31 Desember 2022  
DOI: 10.32722/jmt.v3i3.4819

### **Abstrak**

*Scaling silika merupakan masalah utama dalam proses pemanfaatan energi panas bumi. Scaling silika paling banyak terjadi pada PLTP dengan karakteristik reservoir yang memproduksi fluida 2-fasa. Pilot Testing diperlukan untuk mengetahui parameter dan teknologi yang optimal dalam memitigasi scaling silika. Production Optimization Unit (POU) merupakan unit untuk melakukan pilot testing. Penentuan parameter operasi POU menggunakan simulasi (test planer) secara general dengan algoritma yang terkunci dan tingkat keakuratannya masih rendah. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan pengembangan simulasi pada parameter suhu jalur injeksi brine di POU dengan menggunakan perangkat lunak EES dan melakukan verifikasi hasil simulasi dengan hasil pengoperasian POU secara eksperimental. Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah kuantitatif komparatif, atau membandingkan secara langsung data hasil simulasi dan eksperimen untuk memverifikasi. Berdasarkan perbandingan data verifikasi simulasi, pengembangan simulasi berhasil meningkatkan akurasi sebesar 6.471%. Algoritma yang dibuat bersifat fleksibel sehingga engineer PT.XYZ dapat leluasa melakukan rekayasa algoritma dan parameter. Rekayasa diperlukan guna mendapatkan parameter-parameter yang optimum sebagai dasar pengoperasian POU.*

*Kata-kata kunci: Simulasi, EES, Heat loss, Injeksi, Brine, Panas Bumi*

### **Abstract**

*Scaling silica is a major problem in the geothermal energy utilization process. Scaling silica mostly occurs in geothermal power plants with reservoir characteristics that produce 2-phase fluids. Pilot Testing is needed to determine the optimal parameters and technology to mitigate silica scaling. The production Optimization Unit (POU) is a unit for conducting pilot testing. The determination of the POU operating parameters uses a general simulation (test planer) with a locked algorithm and the accuracy is still low. This study aims to develop simulations on the temperature parameters of the brine injection line in the POU using EES software and verify the simulation results with the experimental results of the POU operation. The research method in this study is comparative quantitative, or directly comparing the data from simulations and experiments to verify the simulations. Based on the comparison of the simulation verification data, the simulation development succeeded in increasing the accuracy by 6.471%. The algorithm created is flexible so that PT. XYZ engineers can freely engineer algorithms and parameters. Engineering is needed to obtain the optimum parameters as the basis for the operation of POU*

*Keywords: Simulation, EES, Heat loss, Injection, Brine, Geothermal*



## 1. PENDAHULUAN

Indonesia memiliki potensi energi panas bumi sangat melimpah, 40% cadangan energi panas bumi dunia ada di Indonesia [1]. Kapasitas potensi energi panas bumi Indonesia sebesar 23.965,5 MW, menurut data yang dihimpun hingga tahun 2019 [2]. Pengembangan PLTP untuk memanfaatkan potensi energi panas bumi yang ada di Indonesia terkendala beberapa hal, salah satunya adalah masalah *scaling* silika. *Scaling* silika merupakan masalah utama pada PLTP dengan karakter fluida panas bumi dua fasa [3].

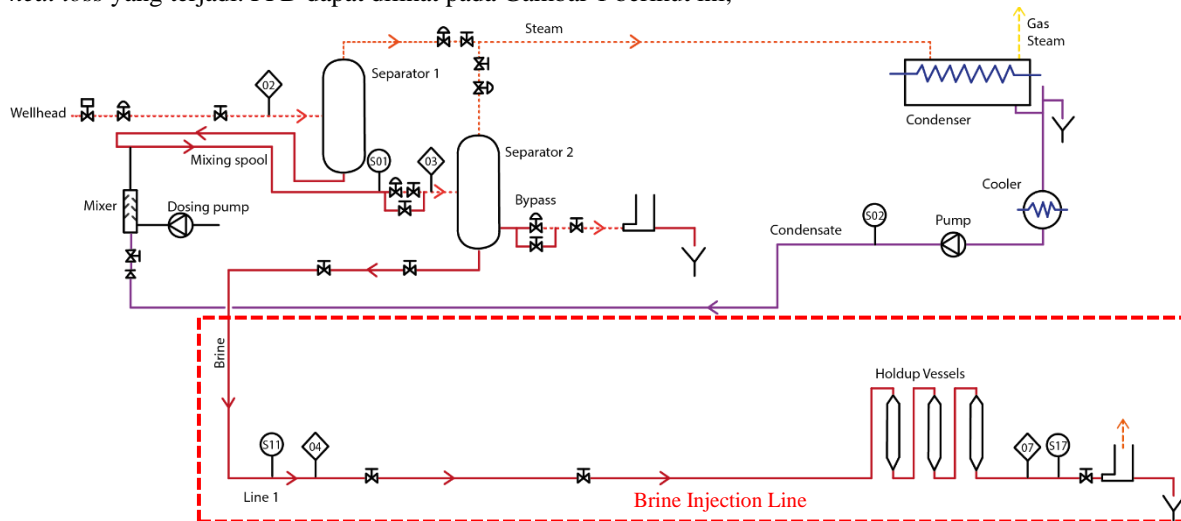
Wilayah Kerja Panas bumi (WKP) Dieng merupakan daerah panas bumi yang mempunyai karakter fluida panas bumi dominan air atau dua fasa. WKP Dieng merupakan salah satu daerah panas bumi dengan kandungan silika yang sangat tinggi yaitu sekitar 795 – 1180 mg/kg menurut hasil *Tracer Flow Test (TFT)* pada tanggal 23 Maret 2021. Pertumbuhan *scaling* silika pada jalur injeksi *brine* unit *eksisting* di Dieng 9,52 cm/Tahun [4]. *Production Optimization Unit (POU)* milik PT.XYZ merupakan unit untuk menjalankan *pilot testing*. *Pilot testing* yang dilakukan bertujuan untuk mendapatkan parameter optimum agar *scaling* silika dapat diminimalisir. Pada penelitian sebelumnya POU dioperasikan dengan menggunakan simulasi (*test planer*) secara *general* dan algoritmanya dikunci oleh kontraktor sehingga *engineer* tidak dapat merekayasa simulasi tersebut. *Test planer* tidak mencakup perhitungan *heat loss* pada jalur injeksi *brine* POU, sehingga akurasi simulasi menjadi minim.

Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan akurasi simulasi pada parameter suhu di jalur injeksi *brine* POU serta memudahkan *engineer* untuk melakukan rekayasa pada algoritma simulasi. Kehilangan panas adalah suatu hal yang selalu terjadi pada perencanaan jalur pemipaan panas bumi, hal tersebut dikarenakan perpindahan panas dari suhu yang lebih tinggi ke suhu yang lebih rendah [5]. Suhu *outlet* lebih rendah dibandingkan suhu *inlet* jalur injeksi *brine*.

## 2. METODE PENELITIAN

### Model Perpindahan Panas

Pemodelan dilakukan dengan membuat *process flow diagram (PFD)* POU untuk memetakan alur proses yang terjadi di POU. Pada penelitian ini pemodelan difokuskan pada sisi jalur injeksi *brine* untuk menganalisis *heat loss* yang terjadi. PFD dapat dilihat pada Gambar 1 berikut ini,

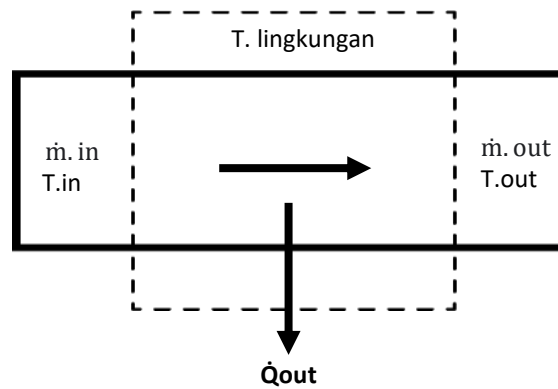


Gambar 1. *Process flow diagram (PFD)* sistem *dual flash* POU

Setelah membuat *process flow diagram (PFD)* analisis energi dilakukan dengan memperhatikan asumsi-asumsi pada proses simulasi, adapun asumsi-asumsi pada proses simulasi antara lain:

1. Sistem berada pada kondisi *steady state* atau dalam kondisi tunak
2. Masa *brine* yang mengalir tetap atau tidak ada kebocoran ( $m_{in} = m_{out}$ )
3. Tidak ada kerja yang dihasilkan ( $W = 0$ )
4. Sistem *eksotermis* atau melepas kalor ke lingkungan karena  $T_{lingkungan} > T_{brine}$
5. Pipa berdiameter beda dihitung terpisah, untuk mendapatkan total besaran panas yang terbuang masing-masing besaran panas yang terbuang dijumlahkan
6. *Elbow, Valve*, dan komponen lainnya diabaikan

Analisis *heat loss* pada jalur injeksi brine dapat dilihat pada Gambar 2 berikut,



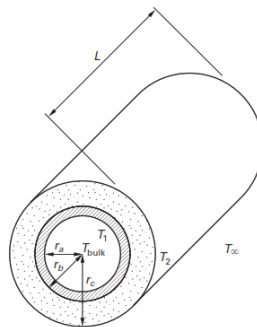
Gambar 2. Skema analisis *heat loss* pada jalur injeksi brine

Dari skema diatas maka didapatkan rumus energi panas yang dilepaskan sistem ke lingkungan yakni:

$$Q_{loss} = \dot{m} \cdot Cp \cdot (T_{in} - T_{out}) \quad (1)$$

$$T_{out} = T_{in} - \frac{Q_{loss}}{\dot{m} \cdot Cp} \quad (2)$$

Dimana  $Cp$  [J/kg.K] adalah panas spesifik brine pada tekanan konstan,  $\dot{m}$  [kg/s] adalah laju massa brine. Dalam buku Michael R. Lindeburg, PE "Mechanical Engineering Reference Manual for the PE Exam, Thirteenth Edition" halaman 34-9 Untuk mendapatkan besaran nilai energi panas yang terbuang (*heat loss*) pada pipa jalur injeksi brine berinsulasi dapat menggunakan persamaan berikut ini [6],



Gambar 3. Perpindahan panas pada pipa dengan insulasi [6]

$$Q_{loss} = \frac{2 \cdot \pi \cdot L (T_{in} - T_{lingkungan})}{\frac{1}{r_a \cdot h_a} + \frac{\ln \frac{r_b}{r_a}}{k_{pipa}} + \frac{\ln \frac{r_c}{r_b}}{k_{insulasi}} + \frac{\ln \frac{r_d}{r_c}}{k_{stimut}} + \frac{1}{r_d \cdot h_d}} \quad (3)$$

Dimana  $r$  [m] adalah jari-jari silinder dan  $L$  adalah panjang keseluruhan pipa [m]. Berdasarkan persamaan di atas ada faktor  $h$  [W/m<sup>2</sup>.K] (koefisien konveksi) mengindikasikan perpindahan panas terjadi secara konveksi dan adanya faktor  $k$  [W/m.K] (konduktifitas panas) mengindikasikan perpindahan panas terjadi secara konduksi. Untuk mengetahui koefisien konveksi dapat menggunakan persamaan berikut,

$$Nu = \frac{h \cdot d}{k} \quad (4)$$

$$h = \frac{Nu \cdot k}{d} \quad (5)$$

$d$  [m] merupakan diameter dalam pipa. Dalam buku Michael R. Lindeburg, PE “*Mechanical Engineering Reference Manual for the PE Exam, Thirteenth Edition*” halaman 36-5 sampai 36-6 untuk mengetahui nilai *Nusselt number* pada kondisi aliran turbulents di dalam pipa lurus dapat menggunakan rumus berikut:

$$Nu = 0.023 Re^{0.8} \cdot Pr^n \quad (6)$$

Persamaan diatas dapat berlaku jika [ $0.7 < Pr < 120$ ;  $Re > 10^4$ ;  $L/D > 60$ ]. Konstanta  $n$  bernilai 0.3 jika suhu fluida lebih tinggi dibandingkan suhu permukaan pipa dan 0.4 jika suhu fluida lebih rendah dibandingkan suhu permukaan pipa. Untuk mendapatkan nilai *Reynold number* ( $Re$ ) dan *Prandtl number* ( $Pr$ ) dapat menggunakan rumus berikut ini:

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu} \quad (7)$$

$$Pr = \frac{Cp \cdot \mu}{k} \quad (8)$$

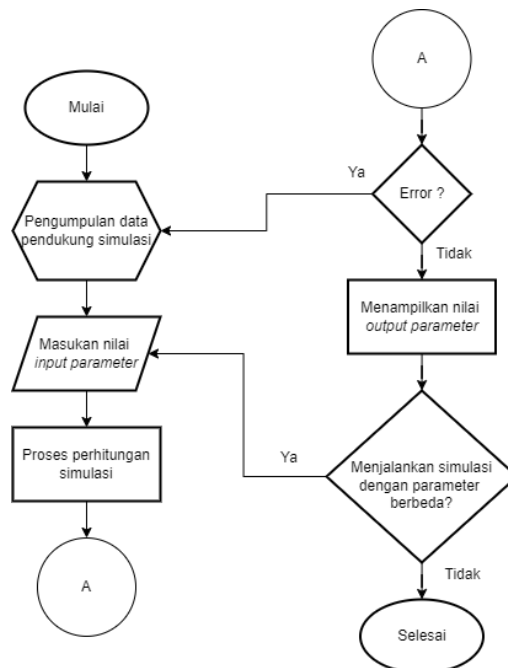
Dimana  $v$  [m/s] adalah kecepatan fluida,  $\nu$  [ $m^2/s$ ] adalah viskositas kinematik, dan  $\mu$  [kg/s.m] adalah viskositas dinamis. Menurut buku Moran, Michael J. “*Introduction to Thermal Systems Engineering Thermodynamics, Fluid Mechanics, and Heat Transfer*” halaman 419 untuk mengetahui nilai  $Nu$  pada silinder dengan aliran udara *cross flow* dapat menggunakan rumus berikut[7],

$$Nu_D = C \cdot Re_D^m \cdot Pr^{1/3} \quad (9)$$

Dimana  $C$  dan  $m$  merupakan konstanta *Hilpert correlation*, nilai konstanta dapat dilihat pada tabel 17.2 buku tersebut. Persamaan 8 berlaku jika [ $Pr \geq 0.7$ ].

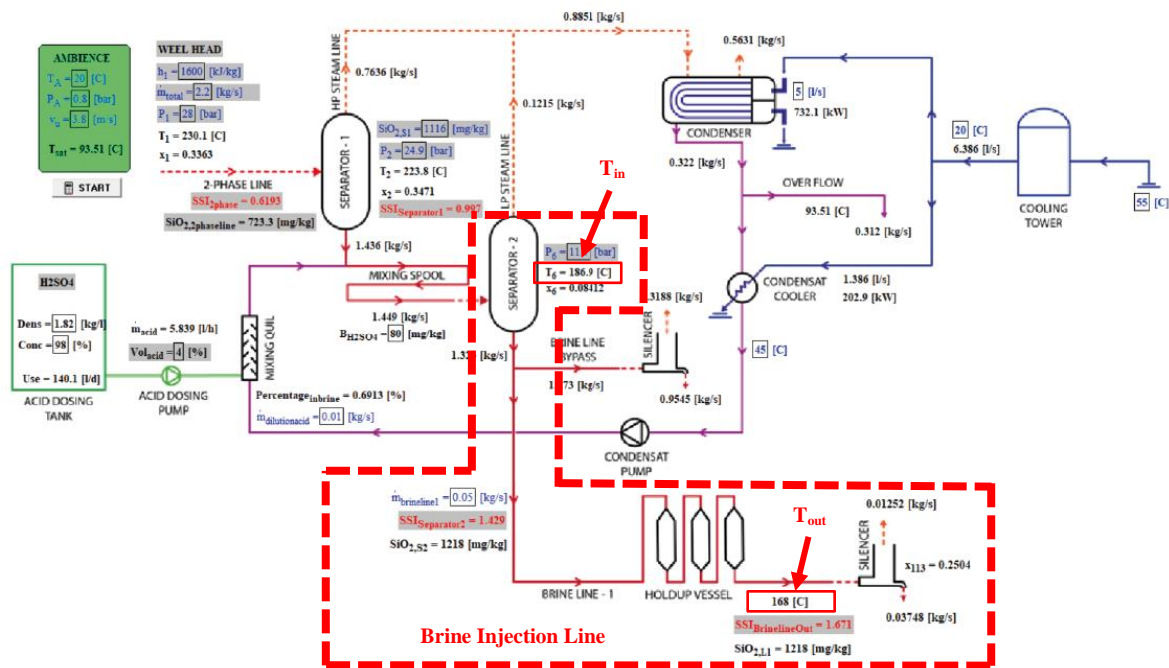
### Algoritma Simulasi

Setelah pemodelan dan persamaan sudah didapatkan, penyusunan algoritma simulasi menggunakan perangkat lunak *Engineering Equation Solver (EES)*. Hal pertama yang dilakukan pada saat menyusun algoritma simulasi adalah membuat digram alir algoritma, pada Gambar 4 berikut adalah diagram alir algoritma simulasi pada parameter suhu jalur injeksi *brine* di POU,



Gambar 4. Diagram alir algoritma simulasi

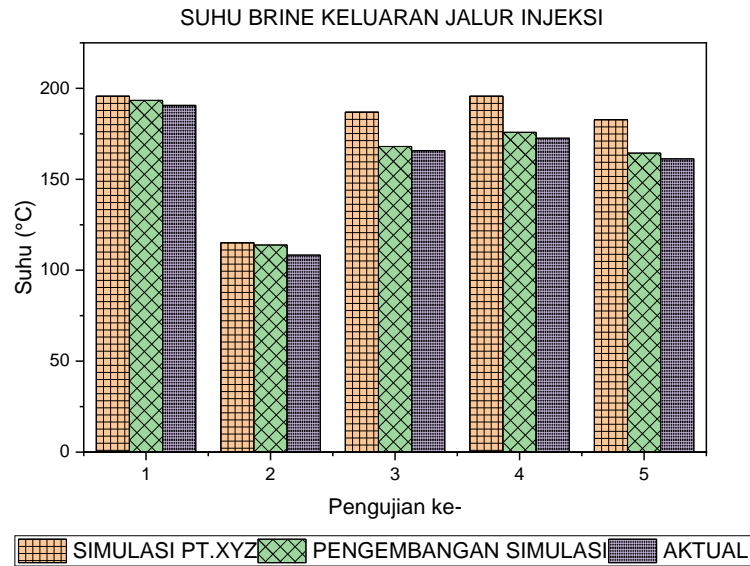
Setelah diagram alir algoritma dibuat, algoritma disusun berdasarkan persamaan-persamaan yang sudah diperoleh sebelumnya. Penyusunan algoritma dilakukan pada jendela “*equations window*” EES. Penyusunan diawali dengan mendefinisikan parameter-parameter pendukung perhitungan dengan notasi yang unik, selanjutnya masukan nilai parameter data pendukung yang diketahui ( $T_{in}$ ,  $T_{lingkungan}$ ,  $m$ ,  $C_p$ ,  $k$ ,  $d$ ,  $r$ ,  $L$ ,  $v$ ,  $V$ ,  $\mu$ ,  $C$ , dan  $m$ ), dan terakhir susun persamaan 1-8. Hasil simulasi dapat dilihat pada jendela “*solution window*” dengan menekan icon “*calculate*” pada *toolbar*. Verifikasi data hasil simulasi dilakukan dengan metode kuantitatif komparatif yaitu dengan membandingkan langsung data hasil simulasi dengan data aktual pengoperasian POU. Untuk memudahkan analisis *heat loss* yang terjadi di jalur injeksi *brine* PFD dapat diletakkan pada jendela “*Diagram window*”, Gambar 5 berikut ini adalah tampilan diagram window untuk simulasi *dual flash sistem* di POU,



Gambar 5. Tampilan simulasi sistem *dual flash* POU menggunakan EES

### 3. PEMBAHASAN

Kehilangan panas atau *heat loss* pada jalur injeksi *brine* perlu untuk diketahui. Analisis *heat loss* diperlukan untuk mengetahui suhu *brine* pada sisi *outlet* jalur injeksi. Suhu *brine* sisi *outlet* jalur injeksi digunakan untuk menganalisis pembentukan *scaling* silika yang terjadi pada sumur injeksi. Analisis *scaling* silika dilakukan dengan metode perhitungan nilai *Silica Saturation Index* (SSI) atau index perbandingan kelarutan silika pada suhu tertentu. Nilai SSI dipengaruhi oleh suhu *brine* dan konsentrasi SiO<sub>2</sub> (silika) pada *brine*. Dengan pengembangan simulasi ini suhu *brine* sisi *outlet* jalur injeksi dapat diprediksi dan diketahui faktor-faktor yang dapat mempengaruhi *heat loss* yang terjadi. Berikut pada Gambar 6 merupakan grafik perbandingan suhu *brine* sisi *outlet* jalur injeksi hasil pengembangan simulasi, simulasi PT.XYZ dan data aktual dengan 5 kali percobaan,



Gambar 6. Perbandingan suhu *brine* jalur injeksi antara data hasil simulasi dengan data aktual

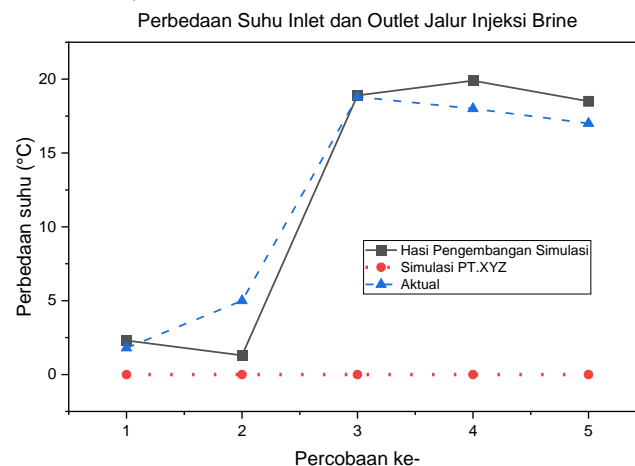
Dari Gambar 6 dapat dianalisis terkait validasi dari simulasi yang dimiliki oleh PT.XYZ dan hasil pengembangan simulasi dengan data aktual terdapat perbedaan yang signifikan antara simulasi PT.XYZ dengan data aktual (penjelasan lebih lanjut terdapat pada Gambar 7). Setelah dilakukan pengembangan simulasi didapati berbagai faktor yang dapat mempengaruhi terjadinya penurunan suhu pada jalur injeksi.

Berdasarkan data hasil simulasi dan data aktual, faktor operasional yang mempengaruhi *heat loss* yang terjadi di jalur injeksi *brine* diantaranya adalah:

1. Suhu *brine* sisi *inlet*
2. Laju massa *brine*
3. Kecepatan angin di lingkungan sekitar pipa jalur injeksi *brine*

Untuk meminimalisir *heat loss* yang terjadi ketika pengoperasian POU maka dapat melakukan optimasi pada parameter-parameter tersebut terkecuali parameter kecepatan angin. Selain faktor operasional, faktor pemilihan material pipa, material insulasi, dan ketebalan insulasi juga dapat menekan besaran *heat loss* yang terjadi.

Data hasil pengembangan simulasi perlu dilakukan verifikasi dengan data aktual hasil pengoperasian POU. Verifikasi dilakukan untuk memastikan data hasil simulasi dapat mewakili keadaan aktual di lapangan pada saat pengoperasian POU. Standar deviasi yang digunakan PT.XYZ untuk verifikasi simulasi adalah <10%. Gambar 7 berikut ini menunjukkan data perbandingan data beda suhu *inlet* dan *outlet* *brine* pada jalur injeksi antara data simulasi dan data aktual,



Gambar 7. Perbandingan data suhu *inlet* dan *outlet* *brine* jalur injeksi antara data hasil simulasi dengan data aktual

Berdasarkan grafik pada Gambar 7 menunjukkan bahwa pada simulasi PT.XYZ tidak ada penurunan suhu yang terjadi akibat kehilangan panas pada jalur injeksi *brine*. Tidak adanya penurunan suhu pada simulasi PT.XYZ dikarenakan pada simulasi tersebut tidak diperhitungkan kehilangan panas yang terjadi, sehingga suhu *brine inlet* dan *outlet* jalur injeksi dianggap sama atau  $\Delta T = 0$ . Rata-rata deviasi yang terjadi antara data hasil simulasi PT.XYZ dengan data aktual adalah 8.759%. Rata-rata deviasi yang terjadi antara data hasil pengembangan simulasi dengan data aktual adalah 2.288%. Berdasarkan perbandingan nilai rata-rata deviasi tersebut pengembangan simulasi berhasil meningkatkan keakuratan simulasi sebesar 6.471%. Nilai deviasi hasil pengembangan simulasi masih dalam ambang batas yang diperbolehkan. Simulasi dapat digunakan untuk analisis awal *heat loss* yang terjadi pada jalur injeksi *brine* di *Production Optimization Unit (POU)*.

#### 4. KESIMPULAN

Berikut ini merupakan simpulan penelitian mengenai pengembangan Simulasi Pada Parameter Suhu Jalur Injeksi *Brine* di *Production Optimizaton Unit (POU)* PT. XYZ:

1. Pengembangan simulasi pada parameter suhu di jalur injeksi *brine Production Optimization Unit (POU)* dapat dilakukan dengan menggunakan prangkat lunak EES. Pengembangan yang dilakukan meliputi penambahan algoritma terkait *heat loss* pada sistem pemipaan jalur injeksi *brine*, sehingga hasil simulasi dapat mengetahui suhu *brine* sisi *outlet* jalur injeksi mendekati keadaan aktual. Pengembangan simulasi berhasil meningkatkan akurasi simulasi sebesar 6.471%.
2. Algoritma yang dibuat bersifat fleksibel sehingga *engineer* PT.XYZ dapat leluasa merekayasa algoritma maupun parameter. Rekayasa diperlukan untuk mengoptimasi parameter-parameter simulasi. Parameter optimum hasil simulasi dapat digunakan sebagai parameter *pilot testing* menggunakan *Production Optimization Unit (POU)*.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT.XYZ yang telah mendukung dan memberikan data pendukung penelitian ini. Penulis juga bertrimakasih kepada Bapak Denis Daya Pamungkas selaku *process engineer* dan Bapak M. Tito Setiawan selaku *mechanical engineer* PT.XYZ yang telah memberikan pengetahuannya terkait penelitian ini.

#### REFERENSI

1. M. Ayu Rizaty, Kata Data.Co.Id (2022).
2. Dewan Energi Nasional, Bauran Energi Nasional 2020 (2020).
3. S. Thorhallsson, Workshop for Decision Makers on Geothermal Projects in Central America 1 (2006).
4. R. Wahyudityo, A. W. Harto, and K. Suryopratomo, 2, 7 (2013).
5. Samsol, K. Pudyastuti, and N. M. Lie, Jurnal Petro 2019 VOLUME VII, 163 (2019).
6. P. Michael R. Lindeburg, Mechanical Engineering Reference Manual for the PE Exam, Thirteenth Edition:, Thirteenth (Professional Publications, Inc, Belmont, 2013).
7. M. J. Moran, H. N. Shapiro, B. R. Munson, and D. P. DeWitt, Introduction to Thermal Systems Engineering Thermodynamics, Fluid Mechanics, and Heat Transfer (John Wiley & Sons, Inc., New York, 2003).