

ANALISIS *HEAT LOSSES* DAN *PRESSURE DROP* PADA SISTEM PEMIPAAN PANAS BUMI DENGAN SIMULASI *ASPEN HYSYS* DI PT GEO DIPA ENERGI (PERSERO) UNIT PATUHA

**Geraldo Cakrawala Herman,
Mukhammad Ramdhan Kirom M.Si.,
Ir. Dodi Herman**

Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

geraldohermanc@gmail.com

mramdhanlankirom@telkomuniversity.ac.id

dodi@geodipa.co.id

Abstrak

Heat losses dan *Pressure drop* merupakan hal umum yang terjadi pada sistem pemipaan, ini disebabkan karena beberapa hal. Diantaranya aliran fluida yang mengalir pada sistem pemipaan akan gesekan di sepanjang permukaan pipa dan juga ketika melewati beberapa sambungan pipa, belokan, katup dan komponen lainnya yang terpasang pada sistem pemipaan. Uap yang mengalir pada sistem pemipaan harus dijaga temperaturnya dan tekanannya agar tidak terjadi kondensasi karena dapat menurunkan entalpi sehingga daya masukan ke turbin akan berkurang. Sistem pemipaan dilapisi dengan insulasi yang berfungsi untuk menjaga terjadinya perpindahan panas dari uap yang keluar dari dalam pipa menuju lingkungan, maka insulasi pada sistem pemipaan harus diperhatikan apakah sudah memiliki konduktifitas thermal yang rendah atau belum. Analisa ini dilakukan dengan menggunakan simulasi *software Aspen Hysys* dengan terlebih dahulu mengumpulkan data parameter pipa dan parameter fluida dari masing-masing sumur produksi. Analisa yang dilakukan adalah variasi ukuran diameter pipa dan variasi bahan insulasi. Hasil yang didapatkan setelah melakukan simulasi yaitu ternyata *Heat losses* dan *Pressure Drop* mempengaruhi daya masukan turbin sehingga dapat menurunkan potensi produksi energi listrik. Model simulasi yang dapat digunakan sebagai alternatif yaitu penggantian bahan insulasi pipa menjadi *cotton wool* dengan konduktifitas thermal sebesar 0,029 W/mK dan pembesaran diameter pipa menjadi 24" sehingga mendapatkan peningkatan produksi uap sebesar 46.748 watt dan 10.284 watt untuk energi listrik pada jalur setelah SUMUR 5 *east line*, pembesaran diameter menjadi 32" sehingga mendapatkan peningkatan produksi uap sebesar 62.191 watt dan 13.682 watt untuk energi listrik pada seluruh *west line*.

Kata Kunci: *Heat Losses*, *Pressure Drop*, Aliran Fluida, Entalpi, Konduktifitas Thermal, Daya.

1. PENDAHULUAN

PT GEO DIPA ENERGI Unit Patuha merupakan perusahaan yang mengolah energi panas bumi menjadi energi listrik. Energi panas bumi terdapat di dalam perut bumi terbentuk karena adanya sumber energi panas dari magma dengan temperatur yang sangat tinggi sehingga air yang mengalir di atasnya akan mengalami kenaikan temperatur akibat adanya perpindahan panas secara konduksi dan konveksi melalui batuan yang terdapat di atas sumber panas magma tersebut dan menjadi uap panas. Uap panas akan mengalir menuju pipa dan dapat memutar turbin dan generator untuk menghasilkan energi listrik.

PT GEO DIPA ENERGI Unit Patuha mengoperasikan pembangkit listrik tenaga panas bumi dengan kapasitas 60 MW, maka suplai uap ke pembangkit harus terpenuhi sehingga listrik yang

dibangkitkan sesuai dengan kontrak penjualan energi listrik yang telah disepakati. Suplai uap dari sumur produksi menuju turbin dan generator melalui jalur pemipaan merupakan salah satu faktor utama yang harus diperhatikan agar pembangkit listrik beroperasi secara optimal.

Uap panas yang mengalir pada pipa harus dijaga temperaturnya dan tekanannya agar tidak terjadi kondensasi sepanjang jalur pemipaan. Kondensasi dapat menurunkan entalpi sehingga menyebabkan daya masukan menuju turbin akan berkurang. Gaya gesekan antara fluida dan dinding fluida juga mengakibatkan terjadinya *heat losses* dan *pressure drop*. Potensi produksi dari energi listrik akan berkurang apabila daya masukan menuju turbin berkurang.

Kondensasi adalah proses perubahan uap menjadi fasa cair yang terjadi apabila uap tersebut bersentuhan melalui permukaan kontak yang

temperaturnya lebih rendah daripada temperatur jenuh uap. Energi laten akan dilepas dan panas akan dipindahkan sehingga pada akhirnya terjadi perubahan fasa pada uap^[1]. Kondensasi dapat menyebabkan korosi dan erosi pada sistem pemipaan dan sudut turbin.

Sistem pemipaan dilapisi dengan insulasi yang berfungsi untuk menjaga terjadinya perpindahan panas dari uap yang keluar dari dalam pipa ke lingkungan, maka insulasi pada sistem pemipaan harus diperhatikan. Konduktifitas termal yang rendah pada insulasi akan menjaga temperature fluida yang mengalir pada pipa sehingga *heat losses* pada sistem pemipaan akan terminimalisir.

Kerugian panas atau *heat losses* dan penurunan tekanan atau *pressure drop* yang terjadi di sepanjang sistem pemipaan harus diketahui, sehingga dapat dilakukan perbaikan dari bahan insulasi pada sistem pemipaan dan perbaikan pada diameter pipa sehingga akan mendapatkan bahan insulasi dan diameter pipa yang optimal sehingga uap panas bumi yang sampai ke turbin dapat dimanfaatkan seoptimal mungkin untuk memutar turbin dan generator untuk menghasilkan energi listrik. Oleh karena itu PT GEO DIPA ENERGI harus meminimalisir *heat losses* dan *pressure drop* pada sistem pemipaan. Langkah untuk meminimalisirnya adalah dengan melakukan observasi dan perhitungan di lapangan, selanjutnya data yang sudah didapat akan diolah menggunakan *software Microsoft Excel* dan dilakukan perbandingan dengan simulasi menggunakan *software Aspen Hysys*. Data *heat losses* dan *pressure drop* yang sudah didapat kemudian dianalisis agar dapat mengetahui pengaruhnya terhadap daya masukan turbin.

Analisis *heat losses* dan *pressure drop* dengan simulasi *Aspen Hysys* menjadi solusi bagi PT GEO DIPA ENERGI agar dapat membantu memberikan alternatif pembesaran diameter pipa maupun pemilihan bahan insulasi yang tepat sehingga dapat meningkatkan daya yang masuk menuju turbin dan meningkatkan potensi produksi dari perusahaan.

2. LANDASAN TEORI

2.1 Pressure Drop

Penurunan tekanan dan kerugian head dalam sebuah pipa akan bergantung kepada tegangan geser yang ada di dinding pipa (τ_w) yaitu antara fluida dan permukaan pipa. Perbedaan antara aliran laminar dan aliran turbulen yaitu bila tegangan geser untuk aliran turbulen adalah fungsi dari kerapatan fluida (ρ). Untuk aliran laminar, tegangan geser tidak bergantung pada kerapatan, sehingga hanya viskositas (μ) yang menjadi sifat fluida yang penting. Parameter kekasaran pipa

sering direpresentasikan sebagai faktor gesekan (*friction factor*)^[3]. dimana bentuk ini sering dituliskan:

$$\Delta p = f \frac{l \rho v^2}{D} \tag{2.1}$$

Dimana faktor gesekannya adalah:

$$f = \frac{\Delta p D}{(l \rho V^2 / 2)} \tag{2.2}$$

Dimana:

$$f = \Phi \left(Re, \frac{\epsilon}{D} \right)$$

Persamaan energi tunak tak mampat:

$$\frac{p_1}{\gamma} + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} + z_1 = \frac{p_2}{\gamma} + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} + z_2 + h_L \tag{2.3}$$

dimana h_L adalah kerugian head antara bagian (1) dan (2). Dengan assumsi pipa berdiameter konstan ($D_1=D_2$ sehingga $u_1=u_2$), horisontal ($z_1=z_2$) dengan aliran berkembang penuh ($\alpha_1 = \alpha_2$), persamaan menjadi $\Delta p = p_1 - p_2 = \gamma h_L$, yang dapat dikombinasikan dengan persamaan (2.1) sehingga menghasilkan :

$$h_L = f \frac{l V^2}{D 2g} \tag{2.4}$$

Persamaan tersebut disebut dengan persamaan Darcy-Weisbach^[4] yang berlaku untuk aliran pipa tunak, tak mampat dan berkembang penuh, baik pipa tersebut horisontal maupun pada posisi sudut kemiringan. Secara umum, dengan $u_1=u_2$ persamaan energi memberikan:

$$p_1 - p_2 = \gamma(z_2 - z_1) + \gamma h_L = \gamma(z_2 - z_1) + f \frac{l V^2}{D 2g} \tag{2.5}$$

2.2 Perpindahan Panas Secara Konduksi Panas

Laju koduksi panas yang mengalir pada plat akan sebanding dengan perbedaan temperature diantara kedua sisi plat dan luas perpindahan panas, tetapi berbanding terbalik dengan tebal plat^[4].

Tinjau sebuah dinding silinder dimana masing masing permukaannya bertemperatur T_1 dan T_2 dimana T_1 lebih besar dari T_2 maka laju perpindahan panas secara konduksi adalah:

$$Q = -kA \frac{dT}{dx}$$

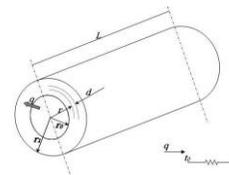
Dimana :

Q = Laju perpindahan panas (W) (J)

A = Luas penampang dimana panas mengalir (m^2)

dt/dx = Perbedaan temperatur t terhadap jarak dalam arah aliran panas x

k = Konduktivitas thermal bahan (W/m^oC)



Gambar 1 Ilustrasi Pipa Silinder^[6]

Untuk mendapatkan perpindahan panas pada silinder pada Gambar 2.2 dengan jari-jari r dan tebal dr . luas permukaan pada pipa silinder adalah:

$$A = 2\pi rL$$

Maka dengan demikian:

$$q = -2\pi rL \frac{dT}{dr}$$

Integrasi persamaan diatas dari r_1 hingga r_2 maka akan didapatkan:

$$q = 2\pi kL \left(\frac{T_1 - T_2}{\ln(r_2/r_1)} \right)$$

Dengan:

k = koefisien konduktivitas termal material

L = panjang pipa

r_1 = jari-jari pipa terhadap insulasi

r_0 = jari-jari dalam pipa

T = temperatur

2.3 Daya Masukan Turbin

Daya listrik merupakan laju hantaran energi listrik dalam sirkuit listrik. Satuan SI daya listrik adalah watt yang menyatakan banyaknya tenaga listrik yang mengalir per satuan detik (joule/detik). Dalam sistem pemipaan, menghitung daya masukan turbin membutuhkan parameter *Flow* atau Laju Aliran Massa dan juga Entalpi dari aliran tersebut. Maka daya masukan turbin dapat dinyatakan dengan:

$$P_{in} = \dot{m} \cdot h_{in}$$

Dimana:

P_{in} = Daya Masukan Turbin (Watt)

\dot{m} = Laju Aliran Massa (kg/s)

h_{in} = Entalpi Masukan (KiloJoule/Kg)

3. Metode Penelitian

3.1 Pengumpulan Data

Tahap pengumpulan data merupakan tahap pertama yang dilakukan penulis. Data yang dikumpulkan penulis berupa data parameter pipa dan parameter fluida yang pada akhirnya akan di inputkan pada *software aspen hysys*.

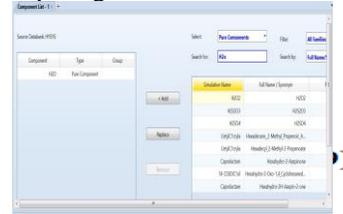
3.2 Simulasi Software Aspen Hysys

Langkah kedua dalam penelitian ini yaitu simulasi pada *software aspen hysys*, dimana data yang di inputkan merupakan data yang sudah didapatkan berupa parameter pipa dan parameter fluid. Gambar 4.2 dibawah ini merupakan langkah untuk melakukan simulasi *software aspen hysys*.



Gambar 3. 1 Langkah Simulasi

Langkah pertama yang dilakukan adalah membuka *software Aspen Hysys* untuk melakukan simulasi dengan membuat lembar kerja baru dan inputkan komponen yaitu H_2O pure component seperti yang dapat dilihat pada gambar 3.2 dibawah ini:



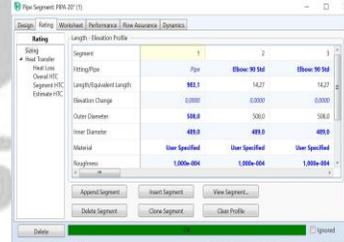
Gambar 3. 2 Input Komponen pada *software aspen hysys*

Langkah selanjutnya yang dilakukan adalah membuat *flowsheet*. *Flowsheet* adalah lembar kerja untuk melakukan simulasi yang sudah diinputkan dengan komponen H_2O seperti pada gambar dibawah ini 3.4 dibawah ini:



Gambar 3. 3 Flowsheet pada *software aspen hysys*

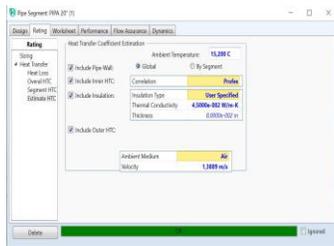
Setelah membuat *flowsheet* langkah yang dilakukan selanjutnya yaitu menginputkan parameter pipa, parameter fluida dan *heat transfer coefficient* untuk mendapatkan hasil simulasi berupa *heat losses* dan *pressure drop* seperti pada gambar dibawah ini 3.5, 3.6 dan 3.7 dibawah ini:



Gambar 3. 4 Input parameter pipa pada *software aspen hysys*

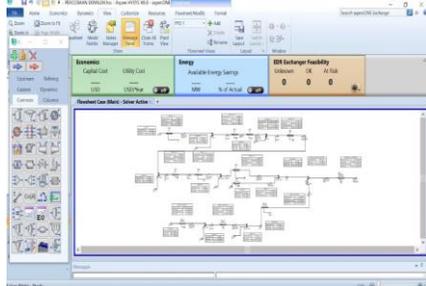


Gambar 3. 5 Input Parameter Fluida pada software aspen hysys



Gambar 3. 6 Input heat losses coefficient pada software aspen hysys

Gambar 3.6 diatas merupakan data parameter fluida yang diinput dan didapatkan berdasarkan aplikasi. Data yang di inputkan adalah *mass flow*,tekanan dan suhu. Model simulasi akan didapatkan setelah melakukan input seluruh data tersebut seperti pada gambar 3.8 dibawah ini:



Gambar 3. 7 Model simulasi pada software aspen hysys

3.3 Perhitungan Manual Dengan Microsoft Excel

Langkah ketiga adalah melakukan perhitungan manual dengan bantuan *Microsoft excel with Steam Tables* dimana penulis akan menginputkan data yang sudah didapatkan berupa parameter pipa dan parameter fluida.

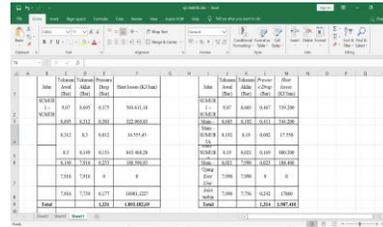
3.4 Perhitungan Error dan Uji Statistik dengan T - Test

Langkah selanjutnya yang dilakukan peneliti adalah menghitung persentase *error*. Langkah ini dilakukan untuk melakukan analisis apakah simulasi ini layak dilakukan atau tidak. Persentase *error* dapat dihitung dengan persamaan:

$$\%Error = \frac{|Nilai\ perhitungan - Nilai\ Simulasi|}{Nilai\ Perhitungan}$$

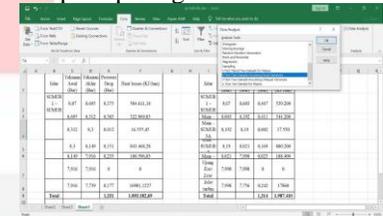
Setelah mendapatkan *error*, penulis melakukan uji statistic dengan *T - Test* yang bertujuan untuk mengetahui apakah hasil perhitungan menggunakan simulasi *software aspen hysys* layak dilakukan atau tidak. *T - Test* dilakukan dengan

bantuan *Microsoft Excel* dengan langkah yang dijelaskan dibawah ini:



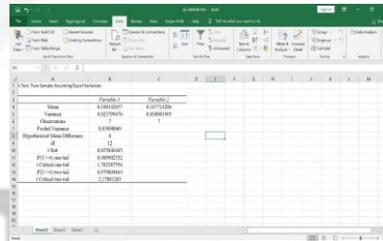
Gambar 3. 8 Data Heat Losses dan Pressure Drop

Langkah pertama yang dilakukan adalah inputkan data *heat loss* dan *pressure drop* berdasarkan hasil simulasi dan hasil perhitungan yang telah dilakukan seperti pada gambar 3.11 diatas.



Gambar 3. 9 Data Analysis

Langkah selanjutnya adalah klik pada tab *Data*, klik *Data Analysis* dan klik *T - Test two sample assuming equal variances* seperti pada gambar 3.12 diatas.



Gambar 3. 10 Hasil T – Test

Hasil pengujian atau *T – Test* akan tampil pada tab baru seperti pada gambar 3.13 diatas dimana dapat disimpulkan hipotesa:

H_0 : $\mu_1 = \mu_2$ (Tidak terdapat perbedaan antara perhitungan *heat losses* dan *pressure drop* secara manual dan simulasi)

H_1 : $\mu_1 \neq \mu_2$ (Terdapat perbedaan antara perhitungan *heat losses* dan *pressure drop* secara manual dan simulasi)

Jika $t\ stat < t\ critical$ maka terima H_0 dan jika $t\ stat > t\ critical$ maka terima H_1 .

3.5 Variasi Diameter Pipa

Variasi diameter pipa dilakukan untuk melakukan analisis pengaruh perubahan diameter pipa terhadap *heat losses* dan *pressure drop* sesuai dengan standard *schedule 40 pipe* dan persamaan *darcy weisbach*, setelah dikeatahui, peneliti akan

melakukan analisis untuk alternative peningkatan produksi listrik.

3.6 Evaluasi Insulasi

Evaluasi insulasi dilakukan untuk melakukan analisis pengaruh bahan insulasi terhadap *heat losses* dan *pressure drop*. Data bahan insulasi didapatkan dari beberapa sumber seperti *American Petroleum Institute (API)* atau *American Society Of Mechanical Engineer (ASME)* maupun data manufaktur dari perusahaan.

3.7 Rekomendasi Alternatif

Langkah terakhir yang dilakukan oleh peneliti adalah memberikan rekomendasi alternatif kepada perusahaan tentang permasalahan yang ada. Alternatif rekomendasi diberikan untuk memenuhi kekurangan pada sistem pemipaan yang mengakibatkan kerugian yaitu berkurangnya peluang produksi energi listrik maka dilakukan rekomendasi terhadap perbaikan insulasi pada sistem pemipaan oleh peneliti kepada perusahaan agar lebih baik

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Simulasi Dengan Aspen Hysys

Data yang sudah dikumpulkan berupa Panjang pipa, belokan dan komponen pipa lainnya, dan beberapa parameter seperti tekanan, suhu dan *flow* akan diolah dengan melakukan simulasi pada *Software Aspen Hysys*. Lampiran 4.1 merupakan hasil simulasi secara keseluruhan menggunakan *Software Aspen Hysys*, dimana dalam simulasi ini akan dibagi menjadi *East Line* dan *West Line*.

Tabel 4.1 Hasil simulasi pada *east line*

Jalur	Tekanan Awal (Bar)	Tekanan Akhir (Bar)	Pressure Drop (Bar)	Heat losses (kJ/Jam)
SUMUR 1 – SUMUR 5	9,07	8,603	0,467	539.200
Main – SUMUR 3B	8,603	8,192	0,411	344.200
Main – SUMUR 3A	8,192	8,19	0,002	17.550
Main – SUMUR 7	8,19	8,021	0,169	880.200
Main – SUMUR 6	8,021	7,998	0,023	188.400
Ujung East Line	7,998	7,998	0	0
Inlet turbin	7,998	7,756	0,242	17860
Total			1,314	1.987.410

Tabel 4.1 diatas merupakan hasil simulasi menggunakan *software aspen hysys* pada *east line*, dimana *pressure drop* terbesar terjadi pada jalur SUMUR 1 – SUMUR 5 yaitu sebesar 0,467 bar dan *heat losses* terbesar juga terjadi pada jalur SUMUR 1 – SUMUR 5 yaitu sebesar 539.200 KJ/Jam, sedangkan *pressure drop* terkecil terjadi pada jalur MAIN – SUMUR 3A dimana *pressure drop* yang terjadi yaitu sebesar 0,002 bar dan *heat losses* terkecil juga terjadi pada jalur MAIN – SUMUR 3A dimana *heat losses* yang terjadi yaitu sebesar 17.550 KJ/Jam. *Pressure drop* total yang terjadi sepanjang *east line* adalah sebesar 1,314 bar dan *heat losses* total yang terjadi sepanjang *east line* adalah sebesar 1.987.410 KJ/Jam dan kehilangan daya uap sebesar 552,058 KW.

Tabel 4. 2 Hasil simulasi pada *west line*

Jalur	Tekanan Awal (Bar)	Tekanan Akhir (Bar)	Pressure Drop (Bar)	Heat losses (kJ/Jam)
SUMUR 4 – SUMUR 2	8,53	8,53	0	870,2
Main – SUMUR 2A	8,53	8,21	0,32	11.030
Ujung West Line	8,21	7,76	0,45	611.600
Inlet turbin	7,76	7,756	0,004	17.860
Total			0,774	641.360,2

Tabel 4.2 diatas merupakan hasil simulasi menggunakan *software aspen hysys* pada *west line*, dimana *pressure drop* terbesar terjadi pada ujung *west line* yaitu sebesar 0,45 bar dan *heat losses* terbesar juga terjadi pada ujung *west line* yaitu sebesar 611.600 KJ/Jam, sedangkan *pressure drop* terkecil terjadi pada jalur SUMUR 4 – SUMUR 2 dimana tidak terjadi *pressure drop* dikarenakan letak sumur yang berdekatan sedangkan *heat losses* terkecil juga terjadi pada jalur SUMUR 4 – SUMUR 2 dimana *heat losses* yang terjadi yaitu sebesar 870,2 KJ/Jam. *Pressure drop* total yang terjadi sepanjang *west line* adalah sebesar 0,774 bar dan *heat losses* total yang terjadi sepanjang *west line* adalah sebesar 641.360,2 KJ/Jam dan kehilangan daya uap sebesar 178,156 KW. Daya uap total yang hilang sepanjang sistem pemipaan akibat *heat losses* adalah sebesar 730,214 KW.

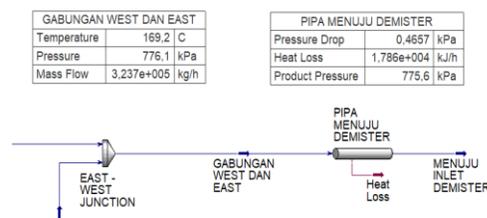
4.2 Daya Ideal Tanpa Losses

Tabel 4. 3 Daya Ideal Tanpa Losses

Well Head	Daya Masukan (MW)	Daya Listrik (MW)
SUMUR 1	50,616	11,135
SUMUR 5	15,590	3,430
SUMUR 3A	10,388	2,285
SUMUR 3B	60,947	13,408
SUMUR 7	37,149	8,173
SUMUR 6	4,958	1,090
SUMUR 4	5,534	1,217
SUMUR 2	26,740	5,883
SUMUR 2A	37,550	8,261
Total	249,472	54,882

Tabel 4.9 diatas merupakan energi uap dari masing masing sumur dan total dari semua sumur dan juga daya listrik yang telah terkonversi dari energi uap, energi total atau daya yang disebutkan pada tabel 4.9 diatas merupakan daya yang ada sebelum terjadinya losses.

4.4 Pengaruh Heat Losses dan Pressure Drop terhadap Daya Aktual Masukan Turbin



Gambar 4. 1 Hasil simulasi pada ujung sebelum masuk *inlet* turbin dan inlet demister

Gambar 4.1 diatas merupakan hasil simulasi setelah uap mengalami *losses* sepanjang sistem

pemipaan. Tekanan uap pada ujung sistem pemipaan sebelum masuk inlet turbin dan inlet turbin yaitu sebesar 7,756 Bar, suhu sebesar 169,2 Celcius dan Flow sebesar 323.700 Kg/Jam atau dapat dikonversi menjadi 89,91667 Kg/Detik. Sehingga didapatkan entalphy saturasi uap sebesar 2772,01 KJ/Kg dan dapat dihitung daya uap tersebut

$$2772,01 \frac{Kj}{Kg} \times 89,91667 \frac{Kg}{Detik} = 249249,908 \frac{Kj}{Detik}$$

atau dapat dikonversi menjadi 249,250 MW, sedangkan *heat losses* total yaitu sebesar 2.628.770,2 KJ/Jam atau dapat dikonversi menjadi 0,730 MW sehingga daya uap total setelah *losses* yaitu sebesar 248,52 MW, adapun daya output dari turbin dengan efisiensi termal sebesar 22% yaitu sebesar 54,674 MW, sehingga terjadi kehilangan daya uap sebesar 223.978 Watt dan terjadi kehilangan daya produksi listrik sebesar 49.275,1 Watt setelah terjadi *pressure drop*. Kehilangan daya uap akibat *heat losses* yaitu sebesar 730.213,944 Watt dan terjadi kehilangan daya produksi listrik sebesar 160.647 watt setelah terjadi *heat losses*, sehingga daya uap total yang hilang yaitu sebesar 954.191,944 watt dan daya produksi listrik total yang hilang yaitu sebesar 209.922,1 watt setelah terjadi *heat losses* dan *pressure drop*.

4.5 Pengaruh Perubahan Diameter Pipa Terhadap Heat Losses dan Pressure Drop

Variasi perubahan diameter pipa dapat dilakukan dengan mengacu pada persamaan *Darcy-Weisbach*, sehingga dapat dilakukan simulasi dengan cara memperbesar diameter pipa untuk dapat mengetahui pengaruh perubahan diameter terhadap besarnya *heat losses* dan *pressure drop* yang terjadi. Simulasi ini dilakukan dengan memperbesar diameter pipa sesuai standard *ASME* dan pipa yang digunakan di lapangan yaitu *schedule 40*.

A. Variasi Diameter pada East Line

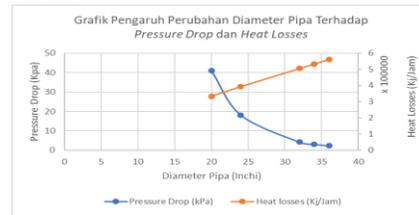
Simulasi dilakukan untuk melakukan analisis perubahan diameter pipa terhadap *Heat losses* dan *Pressure Drop* pada sistem pemipaan pada jalur setelah SUMUR 5 *east line*, dan didapatkan perubahan sebagai berikut:

Tabel 4. 4 Pengaruh Diameter Pipa terhadap *Heat losses* dan *Pressure Drop*

Diameter Pipa (Inchi)	Pressure Drop (kPa)	Heat losses (kJ/Jam)
20	41,08	333.700
24	18,15	392.900
32	4,189	505.300
34	3,063	533.100
36	2,297	560.900

Tabel 4.11 diatas merupakan data pengaruh diameter pipa terhadap *pressure drop* dan *heat losses* yang terjadi pada sistem pemipaan, grafik pengaruh perubahan diameter pipa terhadap

pressure drop juga dapat dilihat pada gambar 4.2 Dibawah ini:



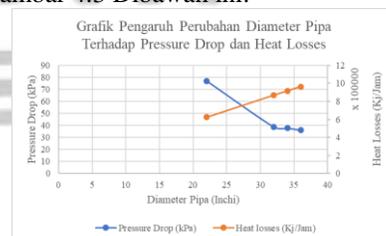
Gambar 4. 2 Pengaruh Diameter Pipa terhadap *Pressure Drop* dan *Heat Losses*

Gambar 4.2 diatas memperlihatkan *pressure drop* akan menurun apabila diameter pipa diperbesar, seperti yang dapat dilihat pada grafik diatas bahwa perubahan *pressure drop* yang besar terjadi pada perubahan diameter pipa dari 20 inchi menjadi 24 inchi yaitu terjadi penurunan *pressure drop* sebesar 22,93 bar, sedangkan *heat losses* akan meningkat saat dilakukan pembesaran diameter pipa. *Heat losses* akan semakin besar diakibatkan oleh ukuran diameter pipa yaitu sesuai dengan persamaan $Q = -kA \frac{dT}{dx}$, dimana A adalah luas penampang, maka semakin besar diameter pipa akan semakin besar pula luas penampangnya yang mengakibatkan laju perpindahan panas akan lebih besar.

Tabel 4. 5 Pengaruh Perubahan Diameter Pipa terhadap *Heat losses* dan *Pressure Drop*

Diameter Pipa (Inchi)	Pressure Drop (kPa)	Heat losses (kJ/Jam)
22	77	623.500,2
32	38,8	867.050
34	37,8	914.552
36	36	962.043

Tabel 4.12 diatas merupakan data pengaruh diameter pipa terhadap *pressure drop* dan *heat losses* yang terjadi pada sistem pemipaan, grafik pengaruh perubahan diameter pipa terhadap *pressure drop* dan *heat losses* juga dapat dilihat pada gambar 4.3 Dibawah ini:



Gambar 4. 3 Pengaruh Perubahan Diameter Pipa terhadap *Pressure Drop* dan *Heat Losses*

Gambar 4.3 diatas memperlihatkan *pressure drop* akan menurun apabila diameter pipa diperbesar, seperti yang dapat dilihat pada grafik diatas bahwa perubahan *pressure drop* yang besar terjadi pada perubahan diameter pipa dari 22 inchi menjadi 32 inchi yaitu terjadi penurunan *pressure drop* sebesar

38,2 bar, sedangkan *heat losses* akan meningkat saat dilakukan pembesaran diameter pipa. *Heat losses* akan semakin besar diakibatkan oleh ukuran diameter pipa yaitu sesuai dengan persamaan $Q = -kA \frac{dT}{dx}$, dimana A adalah luas penampang, maka semakin besar diameter pipa akan semakin besar pula luas penampangnya yang mengakibatkan laju perpindahan panas akan lebih besar.

4.6 Pengaruh Bahan Insulasi Terhadap Sistem Pemipaan

Perpindahan panas pada sistem pemipaan perlu diperhatikan untuk menghindari terjadinya perubahan fasa seperti kondensasi, karena jika terjadi kondensasi uap yang dihasilkan akan berkurang sehingga produksi listrik akan berkurang. Insulasi merupakan lapisan pada pipa yang dapat mengurangi perpindahan panas dari dalam pipa ke lingkungan. Variasi diameter pipa telah berhasil meminimalisir *pressure drop* tetapi hal tersebut membuat *heat losses* naik, maka variasi bahan material insulasi akan dilakukan pada simulasi ini, variasi bahan material insulasi disini adalah pipa tanpa insulasi, *Calcium Silicate* dengan konduktifitas thermal 0,045 W/mK dan *Cotton Wool* dengan konduktifitas thermal 0,029 W/mK.

Tabel 4. 6 Perbandingan Bahan Insulasi Pada Diameter Pipa 20 Inchi

Insulasi	Pressure Drop (kPa)	Heat losses (kJ/Jam)
Tanpa Insulasi	70,94	3.319.000
<i>Calcium Silicate</i>	41,08	333.700
<i>Cotton Wool</i>	41,12	221.800

Tabel 4. 7 Perbandingan Bahan Insulasi Pada Diameter Pipa 24 Inchi

Insulasi	Pressure Drop (kPa)	Heat losses (kJ/Jam)
Tanpa Insulasi	28,71	3.905.000
<i>Calcium Silicate</i>	18,15	392.900
<i>Cotton Wool</i>	18,18	261.700

Tabel 4. 8 Perbandingan Bahan Insulasi Pada Diameter Pipa 32 Inchi

Insulasi	Pressure Drop (kPa)	Heat losses (kJ/Jam)
Tanpa Insulasi	5,191	4.871.000
<i>Calcium Silicate</i>	4,189	505.300
<i>Cotton Wool</i>	3,544	337.400

Tabel 4. 9 Perbandingan Bahan Insulasi Pada Diameter Pipa 34 Inchi

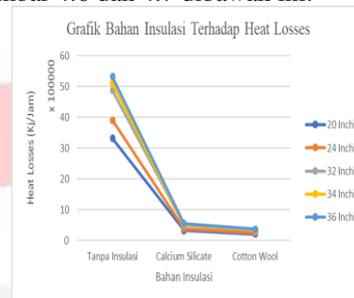
Insulasi	Pressure Drop (kPa)	Heat losses (kJ/Jam)
Tanpa Insulasi	3,562	5.096.000
<i>Calcium Silicate</i>	3,063	533.100
<i>Cotton Wool</i>	2,657	356.200

Tabel 4. 10 Perbandingan Bahan Insulasi Pada Diameter Pipa 36 Inchi

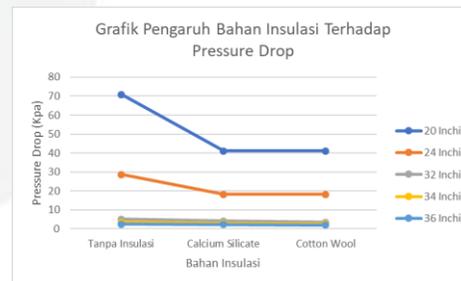
Insulasi	Pressure Drop (kPa)	Heat losses (kJ/Jam)
Tanpa Insulasi	2,536	5.314.000
<i>Calcium Silicate</i>	2,297	560.900
<i>Cotton Wool</i>	1,998	374.900

Bahan insulasi dapat mempengaruhi *heat losses* dan *pressure drop* seperti pada tabel 4.21 hingga 4.25 diatas menjelaskan bahwa *heat losses* dan *pressure drop* akan tinggi saat pipa tidak menggunakan insulasi dan *heat losses* dan *pressure drop* akan turun saat pipa dipasang insulasi, dan bahan insulasi yang terbaik adalah *cotton wool*. Grafik perbandingan bahan insulasi dapat dilihat pada gambar 4.6 dan 4.7 dibawah ini:

Insulasi	Pressure Drop (kPa)	Heat losses (kJ/Jam)
Tanpa Insulasi	2,536	5.314.000
<i>Calcium Silicate</i>	2,297	560.900
<i>Cotton Wool</i>	1,998	374.900



Gambar 4. 4 Grafik Perbandingan Bahan Insulasi Terhadap *Heat Losses*



Gambar 4. 5 Grafik Perbandingan Bahan Insulasi Terhadap *Pressure Drop*

Gambar 4.6 dan 4.7 diatas merupakan grafik perbandingan penggunaan bahan insulasi terhadap *heat losses* dan *pressure drop*, dimana *heat losses* dan *pressure drop* akan menurun saat dilakukan penggunaan insulasi dan bahan insulasi yang paling baik adalah *cotton wool* dikarenakan memberikan *heat losses* yang lebih rendah. Perbandingan bahan insulasi setelah dilakukan simulasi pada *west line* dapat dilihat pada tabel 4.26 sampai tabel 4.29 dibawah ini:

Tabel 4. 11 Perbandingan Bahan Insulasi Pada Diameter Pipa 22 Inchi

Insulasi	Pressure Drop (kPa)	Heat losses (kJ/Jam)
Tanpa Insulasi	105	5.283.303
<i>Calcium Silicate</i>	77	623.500,2
<i>Cotton Wool</i>	76,8	417.646

Tabel 4. 12 Perbandingan Bahan Insulasi Pada Diameter Pipa 32 Inchi

Insulasi	Pressure Drop (kPa)	Heat losses (kJ/Jam)
Tanpa Insulasi	40,8	7.142.256
Calcium Silicate	38,8	867.050
Cotton Wool	37,7	582.734

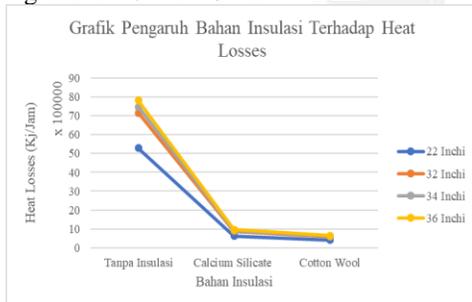
Tabel 4. 13 Perbandingan Bahan Insulasi Pada Diameter Pipa 34 Inchi

Insulasi	Pressure Drop (kPa)	Heat losses (kJ/Jam)
Tanpa Insulasi	38	7.477.798
Calcium Silicate	37,8	914.552
Cotton Wool	36	614.947

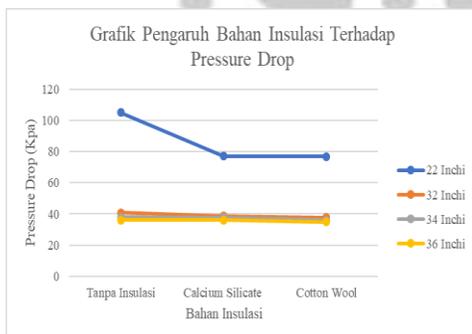
Tabel 4. 14 Perbandingan Bahan Insulasi Pada Diameter Pipa 36 Inchi

Insulasi	Pressure Drop (kPa)	Heat losses (kJ/Jam)
Tanpa Insulasi	36	7.805.414
Calcium Silicate	36	962.043
Cotton Wool	34,8	647.060

Bahan insulasi dapat mempengaruhi *heat losses* dan *pressure drop* seperti pada tabel 4.26 hingga 4.29 diatas menjelaskan bahwa *heat losses* dan *pressure drop* akan tinggi saat pipa tidak menggunakan insulasi dan *heat losses* dan *pressure drop* akan turun saat pipa dipasang insulasi, dan bahan insulasi yang terbaik adalah *cotton wool*. Grafik perbandingan bahan insulasi dapat dilihat pada gambar 4.8 dan 4.9 dibawah ini:



Gambar 4. 6 Grafik Perbandingan Bahan Insulasi Terhadap *Heat losses*



Gambar 4. 7 Grafik Perbandingan Bahan Insulasi Terhadap *Pressure Drop*

Gambar 4.8 dan 4.9 diatas merupakan grafik perbandingan penggunaan bahan insulasi terhadap *heat losses* dan *pressure drop*, dimana *heat losses*

dan *pressure drop* akan menurun saat dilakukan penggunaan insulasi. Bahan insulasi yang paling baik adalah *cotton wool* dikarenakan memberikan *heat losses* yang lebih rendah sehingga daya uap yang dihasilkan akan lebih tinggi dan potensi produksi energi listrik akan meningkat.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Simulasi pada sistem pemipaan tanpa insulasi dengan kondisi diameter aktual yaitu 20 inchi pada jalur setelah SUMUR 5 *east line* menghasilkan *pressure drop* sebesar 70,94 kPa dan *heat losses* sebesar 3.319.000 kJ/Jam, sedangkan simulasi pada sistem pemipaan dengan bahan insulasi *calcium silicate* menghasilkan *pressure drop* sebesar 41,08 kPa dan *heat losses* sebesar 333.700 kJ/Jam, sedangkan simulasi pada sistem pemipaan dengan bahan insulasi *cotton wool* menghasilkan *pressure drop* sebesar 41,12 kPa dan *heat losses* sebesar 221.800 kJ/Jam. Simulasi tanpa insulasi pada seluruh *west line* dengan kondisi diameter aktual yaitu 22 inchi menghasilkan *pressure drop* sebesar 105 kPa dan *heat losses* sebesar 5.283.303 kJ/Jam, sedangkan simulasi dengan menggunakan bahan *calcium silicate* menghasilkan *pressure drop* sebesar 77 kPa dan *heat losses* sebesar 623.500,2 kJ/Jam, sedangkan simulasi dengan menggunakan bahan *cotton wool* menghasilkan *pressure drop* sebesar 76,8 kPa dan *heat losses* sebesar 417.646 kJ/Jam.
2. Simulasi pada sistem pemipaan pada jalur setelah SUMUR 5 *east line* dengan diameter pipa 20 inchi menghasilkan *pressure drop* sebesar 41,08 kPa dan *heat losses* sebesar 333.700 kJ/Jam, dengan diameter pipa 24 inchi menghasilkan *pressure drop* sebesar 18,15 kPa dan *heat losses* sebesar 392.900 kJ/Jam, dengan diameter pipa 32 inchi menghasilkan *pressure drop* sebesar 4,189 kPa dan *heat losses* sebesar 505.300 kJ/Jam, dengan diameter pipa 34 inchi menghasilkan *pressure drop* sebesar 3,063 kPa dan *heat losses* sebesar 533.100 kJ/Jam, dan dengan diameter pipa 36 inchi menghasilkan *pressure drop* sebesar 2,297 kPa dan *heat losses* sebesar 560.900 kJ/Jam.
3. Simulasi pada sistem pemipaan pada seluruh *west line* dengan diameter pipa 22 inchi menghasilkan *pressure drop* sebesar 77 kPa dan *heat losses* sebesar 623.500,2 kJ/Jam, dengan diameter pipa 32 inchi menghasilkan *pressure drop* sebesar 38,8 kPa dan *heat losses* sebesar 867.050 kJ/Jam, dengan diameter pipa 34 inchi menghasilkan *pressure drop* sebesar 37,8 kPa dan *heat losses* sebesar 914.552 kJ/Jam, dan

dengan diameter pipa 36 inchi menghasilkan *pressure drop* sebesar 36 kPa dan *heat losses* sebesar 962.043 kJ/Jam.

4. Daya masukan turbin tanpa losses adalah sebesar 249,472 MW dan setelah terjadi *heat losses* dan *pressure drop* daya masukan turbin turun menjadi 248,52 MW, dimana penurunan yang terjadi yaitu sebesar 954.191,944 watt. Alternatif terbaik berdasarkan simulasi yaitu penggantian bahan insulasi pipa dengan *cotton wool* dengan konduktifitas thermal 0,029 W/Mk dan pembesaran diameter pipa menjadi 24 inchi, dimana kenaikan daya uap sebesar 46.748 Watt untuk daya uap pada jalur setelah SUMUR 5 *east line*, sedangkan pada seluruh *west line* kenaikan daya uap dan listrik terbesar terjadi saat dilakukan pembesaran diameter pipa menjadi 32 inchi yaitu sebesar 62.191 Watt untuk daya uap.
5. Kerugian produksi energi listrik yang didapatkan setelah terjadinya *heat losses* dan *pressure drop* adalah sebesar 209.922,1 watt. Alternatif yang dapat dilakukan berdasarkan analisis untuk mengatasi kerugian potensi produksi energi listrik tersebut yaitu dengan penggantian bahan insulasi menjadi *cotton wool* dan pembesaran diameter pipa menjadi 24 inchi pada jalur setelah SUMUR 5 *east line* sehingga akan mengatasi 5% dari *losses* yaitu sebesar 10.284 watt, dan pembesaran diameter menjadi 32 inchi pada seluruh *west line* sehingga akan mengatasi 6,5% dari *losses* yaitu sebesar 13.682 watt. Jumlah kenaikan potensi produksi energi listrik dengan alternatif ini adalah 11,5% dari total *losses* yaitu sebesar 23.966 watt.

5.2 Saran

Hasil penelitian di PT Geo Dipa Energi unit Patuha menghasilkan pertimbangan dan masukan bagi perusahaan adalah sebagai berikut:

1. Perusahaan selalu melakukan perawatan rutin pada sumur produksi agar dapat menghasilkan *flow* yang stabil sesuai dengan potensi reservoir dan tidak menurun, mengingat daya yang dihasilkan sangat berhubungan dengan *flow*.
2. Alternatif yang dapat dilakukan berdasarkan hasil analisa penulis yaitu lakukan pembesaran diameter pipa pada pembangunan unit baru sehingga *heat losses* dan *pressure drop* akan menurun dan produksi energi listrik yang dihasilkan akan meningkat.
3. Diameter pipa yang optimal pada pembangunan unit baru di *east line* setelah SUMUR 5 adalah dengan mengganti diameter pipa dari ukuran 20" menjadi 24" dan mengganti insulasi dengan bahan *cotton wool* sehingga daya masukan turbin akan mengalami peningkatan sebesar 46.748 watt dan

produksi energi listrik akan meningkat 5% dari *losses* yaitu sebesar 10.284 watt.

4. Diameter pipa yang optimal pada pembangunan unit baru di seluruh *west line* adalah dengan mengganti diameter pipa dari ukuran 22" menjadi 32" dan mengganti insulasi dengan bahan *cotton wool* sehingga daya masukan turbin akan mengalami peningkatan sebesar 62.191 watt dan produksi energi listrik akan meningkat 6,5% dari *losses* yaitu sebesar 13.682 watt.

5. Letak turbin diusahakan dekat dengan sumur produksi agar tidak terjadi *losses* yang besar

DAFTAR PUSTAKA

- [1] https://id.wikipedia.org/wiki/Gaya_gesek diakses pada tanggal: 26 Maret 2019
- [2] Kreith, Frank; Manglik, Raj M., Bohn, Mark S.; Principles of Heat Transfer; Seventh Edition, Cengage Learning, Stamford, 2003.
- [3] Munson, Bruce R., Young Donald F., Okiishi, Theodore H., Mekanika Fluida Edisi Keempat Jilid 1 & 2, terj.Harinaldi,Budiarso (Jakarta: Erlangga,2005).
- [4] Frank P. Incropera, and David P. DeWitt, Fundamentals of Heat Transfer, Fourth Edition, John Wiley and Sons Inc., 2002.
- [5] www.id.steelflang.es.com diakses pada tanggal: 26 Maret 2019
- [6] <http://hendriksumarauw.blogspot.com/p/perpindahan-kalor-1.html> diakses pada tanggal: 26 Maret 2019
- [7] Incropera, Frank, P., De Witt, David, P., "Fundamentals of Heat and Mass Transfer" John Willey & Sons, Inc., 1990.
- [8] Geankoplis, C.J., 2003, *Transport Processes and Unit Operations*, 4thed, Prentice Hall International.
- [9] Di Pipo, Ronald, Geothermal Power Plants: Principles, Applications, Case Studies and Environmental Impact., 2012.