



Pengaruh Perubahan Diameter Pipa dan Jenis Insulasi Terhadap Pressure Drop dan Heat Loss di Lapangan Panas Bumi

Dimas Masela, Henk Subekti dan Arya Dwi Candra

Program Studi Teknik Produksi Minyak dan Gas, Politeknik Energi dan Mineral Akamigas
Jl. Gajah Mada No.38, Mentul, Karangboyo, Cepu Blora Jawa Tengah, 58315, Indonesia.

ABSTRAK

Artikel Info:

Naskah Diterima:
01 September 2023
Diterima setelah
perbaikan:
16 November 2023
Disetujui terbit:
29 Desember 2023

Kata Kunci:

biomarker
pressure drop
heat loss
steam line
panas bumi

Lapangan Patuha adalah salah satu lapangan panas bumi yang ada di Indonesia. Patuha Unit 1 memiliki kapasitas terpasang 60 MW, dan kapasitas Unit 2 yang sedang dikembangkan adalah 55 MW. Pada jalur steam line di Patuha Unit 1 terbagi 2 yaitu jalur barat dan jalur timur. Pada jalur wellpad D ke wellpad B didapati memiliki nilai pressure drop yaitu 0,53 bar dan heat loss sebesar 54.373,8 kJ/h. Sedangkan untuk nilai heat loss yang paling besar ada pada jalur wellpad A ke wellpad E yaitu sebesar 235.445,2 kJ/h. Dapat dilakukan optimasi pada jalur tersebut agar mengurangi nilai pressure drop dan heat loss yang ada. Optimasi disimulasikan terlebih dahulu menggunakan software ASPEN HYSYS, untuk simulasi pertama dilakukan variasi diameter pipa, yang kedua variasi diameter pipa dengan mengganti bahan insulasi ke cotton wolle, dan yang ketiga variasi diameter pipa dan mengganti bahan insulasi ke poliisocyanurat. Setelah dilakukan pembesaran diameter pipa menjadi 14 inch pada jalur tersebut, pressure drop berkurang menjadi 0,3 bar dan untuk heat loss bertambah menjadi 55.892,3 kJ/h. Setelah dicoba untuk mengganti jenis insulasi menjadi cotton wool pada diameter yang sama, nilai heat loss berkurang menjadi 50.652,4 kJ/h. Berdasarkan analisis ekonomi juga menunjukkan bahwa optimasi yang dilakukan ini profit untuk dilakukan.

ABSTRACT

Patuha Field is one of the geothermal fields in Indonesia. Patuha Unit 1 has an installed power generation capacity of 60 MW, and the capacity of Unit 2, which is being developed, is 55 MW. The steam line in Patuha Unit 1 is divided into two lines: the west line and the east line. The wellpad D to wellpad B line was found to have a pressure drop value of 0.53 bar and a heat loss of 54,373.8 kJ/h. Meanwhile, the largest heat loss value is on the wellpad A to wellpad E line, which is 235,445.2 kJ/h. Optimization can be done on the line in order to reduce the pressure drop and heat loss values. Optimization is simulated first using ASPEN HYSYS software; for the first simulation, a variation in pipe diameter is carried out, the second variation in pipe diameter by changing the insulation material to cotton wool, and the third variation in pipe diameter and changing the insulation material to polyisocyanurate. After enlarging the pipe diameter to 14 inches on the line, the pressure drop was reduced to 0.3 bar and the heat loss increased to 55,892.3 kJ/h. After trying to change the type of insulation to cotton wool on the same diameter, the heat loss value was reduced to 50,652.4 kJ/h. Based on economic analysis, it also shows that the optimization carried out is profitable to do.

© LPMGB - 2023

Korespondensi:

E-mail: arya.candra@esdm.go.id (Arya Dwi Candra)

PENDAHULUAN

Besar listrik yang dihasilkan tergantung dari jumlah steam yang diproduksi dari wellpad panas bumi. Banyaknya beban atau steam yang keluar dari sumur panas bumi tidak sepenuhnya dialirkan langsung ke pembangkit, melainkan akan diatur jumlahnya sesuai dengan kebutuhan pembangkit melalui throttle valve.

Dalam pengaturan *throttle valve* harus mempertimbangkan beberapa aspek sehingga kondisi produksi yang didapat benar-benar pada posisi optimal. Aspek – aspek tersebut seperti, heat loss, pressure drop, penurunan tekanan pada well head pressure, kemungkinan terjadinya endapan di steam line dan terjadinya perubahan fraksi yang terjadi pada steam line (Herman *et al.*, 2020). Dilakukan evaluasi steam line pada Patuha Unit 1 untuk mengetahui kondisi aktual dari steam line yang ada. permasalahan yang akan dievaluasi adalah pressure drop dan heat loss. Dikarenakan kedua hal ini sangat berpengaruh dalam proses produksi. Dimana jika terjadi pressure drop yang berlebihan maka akan mengurangi kecepatan alir dalam pipa sehingga muda terjadi kondensasi dalam pipa. Selain itu jika terjadi heat loss yang berlebihan maka akan mengurangi temperatur dari uap yang akan dialirkan ke turbin sehingga nantinya dapat mempengaruhi kerja dari turbin. Untuk itu perlu dilakukan evaluasi pada steam line sehingga nantinya dilihat apakah perlu dilakukan optimasi pada pipa jalur uap atau hanya sekedar maintenance dan perawatan saja.

Beberapa metode analisis pressure drop telah digunakan dalam industri panas bumi, diantaranya adalah Lockhart Martinelli (Raco *et al.*, 2021), Duns & Ros (Álvarez del Castillo *et al.*, 2012), Darcy-Weisbach (Haaland, 1983), Beggs and Brill (Martasari and Firdaus, 2019), Homogeneous (Raco *et al.*, 2021) dan Harriston Freeston (Freeston, 1975; Raco *et al.*, 2021).

Permasalahan pressure drop dan heat loss pada steamfield panas bumi perlu diatasi dengan beberapa upaya perawatan dan perbaikan (Pramudiodhadi and Ea, 2020). Beberapa upaya yang dapat dilakukan untuk menghindari pressure drop dan heat loss diantaranya adalah dengan melakukan variasi terhadap ukuran diameter pipa untuk mengurangi pressure drop dan heat loss yang terjadi (Herman *et al.*, 2020).

BAHAN DAN METODE

Data Penelitian

Pada penelitian ini bahan penelitian yang digunakan adalah berupa data – data yang di dapat dari lapangan (data aktual), dan data produksi lapangan 3 bulan terakhir. Untuk rincian data yang diambil di lapangan adalah sebagai berikut.

- Data Pipa (meliputi ukuran dan jenis pipa & data insulation pipa)
- Data Sumur (*pressure, temperature* dan *flow rate*)
- Data *flow line / steam line* (*pressure, temperature, flow rate*)
- Data produksi harian (3 bulan terakhir)
- Data fluida (dari overview lapangan)

Data – data tersebut didapatkan langsung di lapangan di beberapa divisi seperti *production planning & steam field* (data produksi harian), dan *maintenance* (data pipa).

Tabel 1
Data sunur lapangan Patuha

<i>Wellpad Name</i>	<i>WHP (bar)</i>	<i>WHP (bara)</i>	<i>WHT (degC)</i>	<i>Flow Rate (ton/h)</i>
PPL-01	8,35	9,36	175	56,70
PPL-02	8,55	9,56	175	20,36
PPL-02A	9,05	10,06	180	41,41
PPL-03	8,52	9,53	175	45,30
PPL-03A	8,55	9,56	175	13,47
PPL-03B	8,55	9,56	175	72,20
PPL-04	8,78	9,79	175	10,27
PPL-05	8,75	9,76	175	14,95
PPL-06	8,13	9,14	175	7,66
PPL-07	8,13	9,14	175	11,92

Analisis Pressure Drop

Setelah mendapatkan data aktual dari lapangan, kemudian dilakukan perhitungan menggunakan *micrsoft excel*. Perhitungan awal yaitu menghitung besarnya penurunan tekanan dan kehilangan panas yang terjadi di *steam line*. Untuk perhitungan penurunan tekanan telah banyak metode yang

digunakan seperti Beggs & Brill, Harriston Freeston, Duns & Ros, Homogeneous, Darcy-Weisbach dan Lockhart Martinelli. Ada 3 metode yang akan dipakai untuk menghitung besarnya penurunan tekanan yang terjadi di sepanjang *steam line*. Ketiga metode itu adalah Homogeneous, Lockhart Martinelli dan Darcy-Weisbach. Setelah menghitung menggunakan ketiga metode itu, baru kemudian dibandingkan hasil perhitungan dari ketiga metode tersebut. Untuk rumus metode yang digunakan dapat disajikan seperti berikut.

- Homogeneous

$$\left(\frac{dp}{dz}\right) = \rho_m g \sin\theta + \frac{\lambda V_m^2}{2 v_m D} \quad (1)$$

- Lockhart Martinelli

$$\left(\frac{dp}{dz}\right) = \frac{\lambda_g V_{sg}^2}{2 v_g D} \quad (2)$$

- Darcy-Weisbach

$$\Delta P = \frac{\lambda L v^2 P_g}{2 ID x} \quad (3)$$

Setelah membandingkan ketiga metode tersebut dengan kondisi aktual, maka akan dilihat metode yang paling akurat untuk digunakan.

Dari hasil simulasi yang telah didapat maka akan dilakukan analisa di seluruh steam line. Jika dari hasil simulasi terdapat nilai pressure drop dan heat loss yang besar, maka akan dilakukan evaluasi dan dapat menentukan cara apa yang akan dilakukan untuk mengatasi masalah tersebut. Analisa ini sendiri dilakukan agar mengetahui apakah steam line perlu dilakukan optimasi atau tidak.

Simulasi Menggunakan *Aspen Hysys*

Dalam tahap ini akan dilakukan tiga simulasi jaringan pipa menggunakan *software ASPEN HYSYS*. Pertama simulasi dilakukan dengan mengganti ukuran diameter dari pipa dan tanpa menggunakan insulasi, kedua simulasi dilakukan dengan mengganti bahan insulasi pipa dengan diameter tidak dirubah dan yang ketiga simulasi dilakukan dengan mengganti bahan insulasi dan merubah ukuran diameter pipa. Untuk langkah – langkah simulasi dengan *ASPEN HYSYS* adalah sebagai berikut.

- Langkah pertama yaitu membuka aplikasi *ASPEN HYSYS* dan menginput komponen

H₂O pada *pure component*.

- Langkah selanjutnya membuka *flowsheet* sebagai halaman untuk melakukan simulasi
- Selanjutnya melakukan penginputan parameter pipa dan fluida sesuai data yang ada
- Setelah itu model simulasi akan muncul setelah menginput semua data yang dibutuhkan di *software*

Untuk hasil yang diamati dari simulasi adalah perubahan *pressure drop* dan *heat loss* yang terjadi setelah dilakukan variasi diameter pipa. Setelah itu dilakukan juga perhitungan manual dengan menggunakan data yang sama. Setelah itu hasil simulasi dan hasil perhitungan manual akan dibandingkan.

HASIL DAN DISKUSI

Pada Patuha Unit 1, diketahui nilai *pressure drop* paling besar ada pada jalur *wellpad D* ke *wellpad B*. Jalur ini memiliki panjang 1200 meter, dikarenakan memiliki elevasi yang sangat banyak. Elevasi yang banyak inilah yang menyebabkan pada jalur ini memiliki nilai *pressure drop* yang lebih besar dari jalur lain. Selain itu jalur ini menggunakan pipa dengan diameter yang kecil yaitu 10 inci, sehingga faktor gesekan yang ada pada jalur ini memengaruhi nilai *pressure drop* yang terjadi. Diketahui juga bahwa nilai *heat loss* yang paling besar terjadi pada jalur *wellpad A* ke *wellpad E*. Pada jalur ini juga memiliki panjang yang hampir sama dengan jalur *wellpad D* ke *wellpad B*, yaitu 1170 meter. Hal ini juga mempengaruhi banyaknya *heat loss* yang terjadi. Selain itu, temperatur lingkungan pada area *wellpad A* ke *wellpad E* cukup dingin yaitu, 9 derajat celcius. Jenis insulasi yang digunakan adalah *rockwool*, dan pada saat dilakukan *maintenance*, hanya daerah *bends* pada jalur tersebut yang dilakukan *bends*, dan tidak dilakukan *maintenance* menyeluruh.

Jika dilihat dari data aktual yang ada, *pressure drop* yang paling besar ada pada jalur PPL 4 ke PPL 2, yaitu 0,53 bar. Selanjutnya untuk analisa *pressure drop* akan dilakukan pada jalur yang memiliki nilai *pressure drop* paling besar berdasarkan data aktual, yaitu PPL 4 ke PPL 2. Dikarenakan pada peneilitian ini akan membandingkan hasil perhitungan dan juga simulasi, maka akan dicari metode yang paling

tepat untuk menghitung nilai *pressure drop*. Ada tiga metode perhitungan *pressure drop* yang digunakan sebagai perbandingan dengan data aktual, yaitu metode Homogeneous, Lockhart Martinelli dan Darcy-Weisbach. Perhitungan *pressure drop* di jalur PPL 4 ke PPL 2 dilakukan dengan ketiga metode ini untuk mengetahui metode mana yang hasilnya paling mendekati data aktual. Untuk hasil perhitungan bisa dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 2
Perbandingan metode perhitungan *pressure drop*

Hasil Perhitungan	Pressure Drop (bar)
Homogeneous	1,1
Lockhart Martinelli	0,8
Darcy-Weisbach	0.01

Jika dilihat dari perbandingan di atas, maka metode perhitungan yang hasilnya mendekati data aktual di lapangan yaitu metode Lockhart Martinelli.

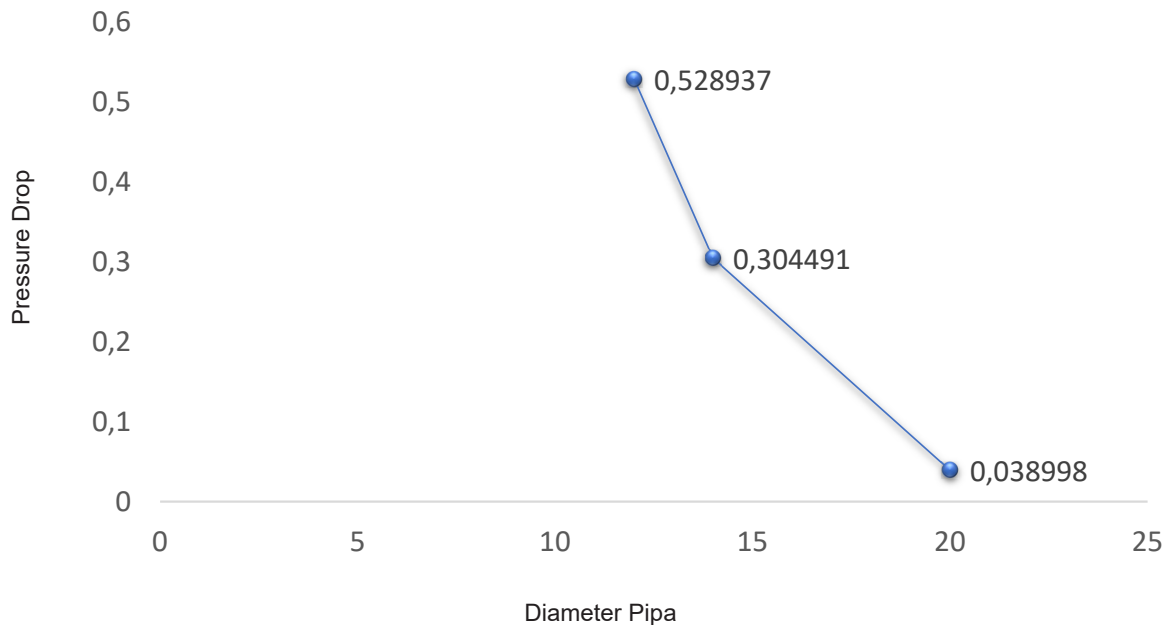
Maka dari itu untuk perhitungan *pressure drop* selanjutnya dalam proses evaluasi dan optimasi nanti akan menggunakan metode Lockhart Martinelli untuk menghitung nilai *pressure drop*.

Hasil Simulasi

Dengan menggunakan *software ASPEN HYSYS*, kemudian dibuatlah simulasi untuk mengetahui pengaruh dari diameter pipa dan bahan insulasi terhadap *pressure drop* dan *heat loss*. Untuk ukuran diameter yang dipakai adalah, 12 inch, 14 inch dan 20 inch. Hasil simulasi kemudian dibandingkan dengan hasil perhitungan manual dengan microsoft excel yang menggunakan metode Lockhart Martinelli. Untuk hasil simulasi dapat dilihat sebagai berikut

Tabel 3
Hasil perhitungan dan simulasi *pressure drop*

Diameter (inch)	Pressure Drop (bar)	
	Calc	Simulation
12	0.528937	0,45
14	0.304491	0,406
20	0.038998	0,08



Gambar 1
Grafik pengaruh diameter pipa terhadap *pressure drop*

Pengaruh Perubahan Diameter Pipa dan Jenis Insulasi Terhadap *Pressure Drop* dan *Heat Loss* di Lapangan Panas Bumi
(Dimas Masela, dkk)

Tabel 4
Hasil perhitungan dan simulasi *heat loss*

Diameter (inch)	Heat Loss(kJ/s)	
	Calc	Simulation
12	54.373,8	84.072,22
14	55.892,3	88.822,2
20	84.704,7	98.158,33

Dari Gambar 1 dan Tabel 4, dapat dilihat bahwa ketika dilakukan pembesaran diameter pipa, maka nilai *pressure drop* akan menurun dikarenakan jika ukuran diameter pipa semakin besar, faktor friksi yang terjadi antara fluida dan dinding dalam pipa akan semakin kecil, sehingga akan mengurangi nilai *pressure drop* yang terjadi. Sementara itu ketika melakukan pembesaran diameter pipa, nilai *heat loss* akan semakin besar, dikarenakan semakin luas penampang yang dilalui oleh fluida maka akan semakin banyak transfer panas yang terjadi dari fluida ke penampang yang dilalui oleh fluida. Maka dari itu dibuatlah simulasi variasi bahan insulasi untuk mengetahui pengaruhnya terhadap nilai *heat loss* yang terjadi. Jenis insulasi yang dipakai ada 3 yaitu, *rock wool*, *cotton wool* dan *polyisocyanurate* (Samsol et al., 2019). Ketiga bahan ini memiliki nilai konduktivitas termal yang berbeda – beda. Untuk hasil simulasi bisa dilihat seperti berikut.

Tabel 5
Hasil perhitungan *heat loss*

Jenis Insulasi	Heat Loss (kJ/s)
Rock Wool	228.178
Cotton Wool	206.787
Polyisocyanurat	164.003

Jika dilihat dari hasil perhitungan, sesuai dengan rumus yang dipakai, nilai *heat loss* dipengaruhi oleh nilai konduktivitas termal dari suatu bahan insulasi. Dimana pada perhitungan yang dilakukan, digunakan bahan insulasi yang memiliki nilai konduktivitas termal lebih kecil, misalnya *cotton wool* dan *polyisocyanurate*. Hasil dari perhitungan menunjukkan adanya penurunan nilai *heat loss* yang terjadi jika menggunakan kedua bahan insulasi tersebut dikarenakan memiliki nilai konduktivitas

termal yang lebih kecil. Setelah mengetahui pengaruh diameter dan insulasi terhadap perubahan nilai *pressure drop* dan *heat loss* di sepanjang jalur pipa distribusi, maka dilakukan variasi antara diameter dan insulasi pipa untuk mencari skenario yang tepat untuk disarankan sebagai mitigasi untuk dilakukan di lapangan. Variasi dilakukan pada jalur pipa alir uap dari *WELLPAD D* ke *WELLPAD B*. Untuk variasi yang dilakukan yaitu perbandingan bahan insulasi terhadap pipa dengan diameter 12 inch, 14 inch dan 20 inch.

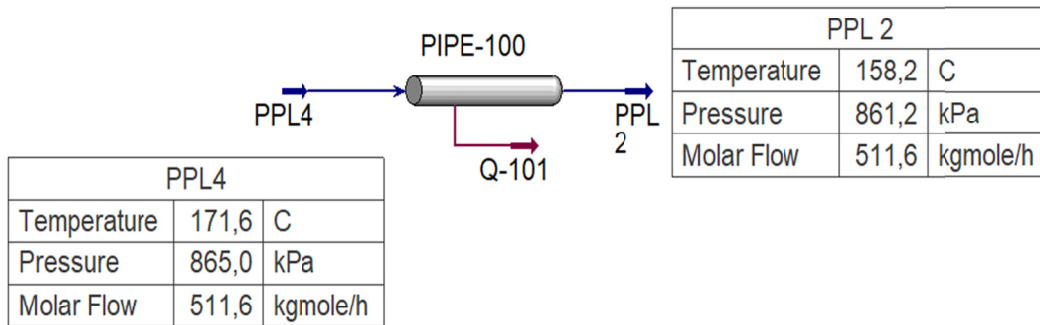
Berdasarkan hasil yang didapat, maka beberapa saran yang dapat diberikan kepada perusahaan yaitu, perlu dilakukan optimasi pada jalur pipa *WELLPAD D* ke *WELLPAD B*, dikarenakan pada jalur tersebut adalah jalur yang memiliki nilai *pressure drop* yang paling besar. Maka itu jika memungkinkan maka dapat dilakukan pembesaran diameter pipa pada jalur tersebut sehingga dapat mengurangi *pressure drop* yang terjadi. Nilai *heat loss* yang terjadi rata – rata adalah di atas 100 kJ/h. Untuk mengurangi *heat loss* dapat dilakukan pergantian bahan insulasi pipa menggunakan *cotton wool*. Dikarenakan insulasi jenis *cotton wool* memiliki nilai konduktivitas termal yang lebih kecil.

Untuk jalur *WELLPAD D* ke *WELLPAD B* mungkin dapat dilakukan pembesaran diameter dari 10 inch menjadi 14 inch. Jika pembesaran itu dilakukan maka *pressure drop* di jalur tersebut yang awalnya 0,53 bar akan berkurang menjadi 0,3 bar. Dan jalur *WELLPAD D* ke *WELLPAD B* perlu diganti bahan insulasi menjadi *cotton wool* karena perubahan diameter pipa tadi mengakibatkan nilai *heat loss* menjadi lebih besar. Nilai *heat loss* awal sebelum dilakukan pembesaran diameter adalah 54.373,8 kJ/s dan setelah dilakukan pembesaran pipa menjadi 14 inch, nilai *heat loss* meningkat menjadi 55.892,3 kJ/s. Setelah bahan insulasi diganti menjadi *cotton wool*, maka nilai *heat loss* menjadi lebih kecil yaitu 50.652,4 kJ/s.

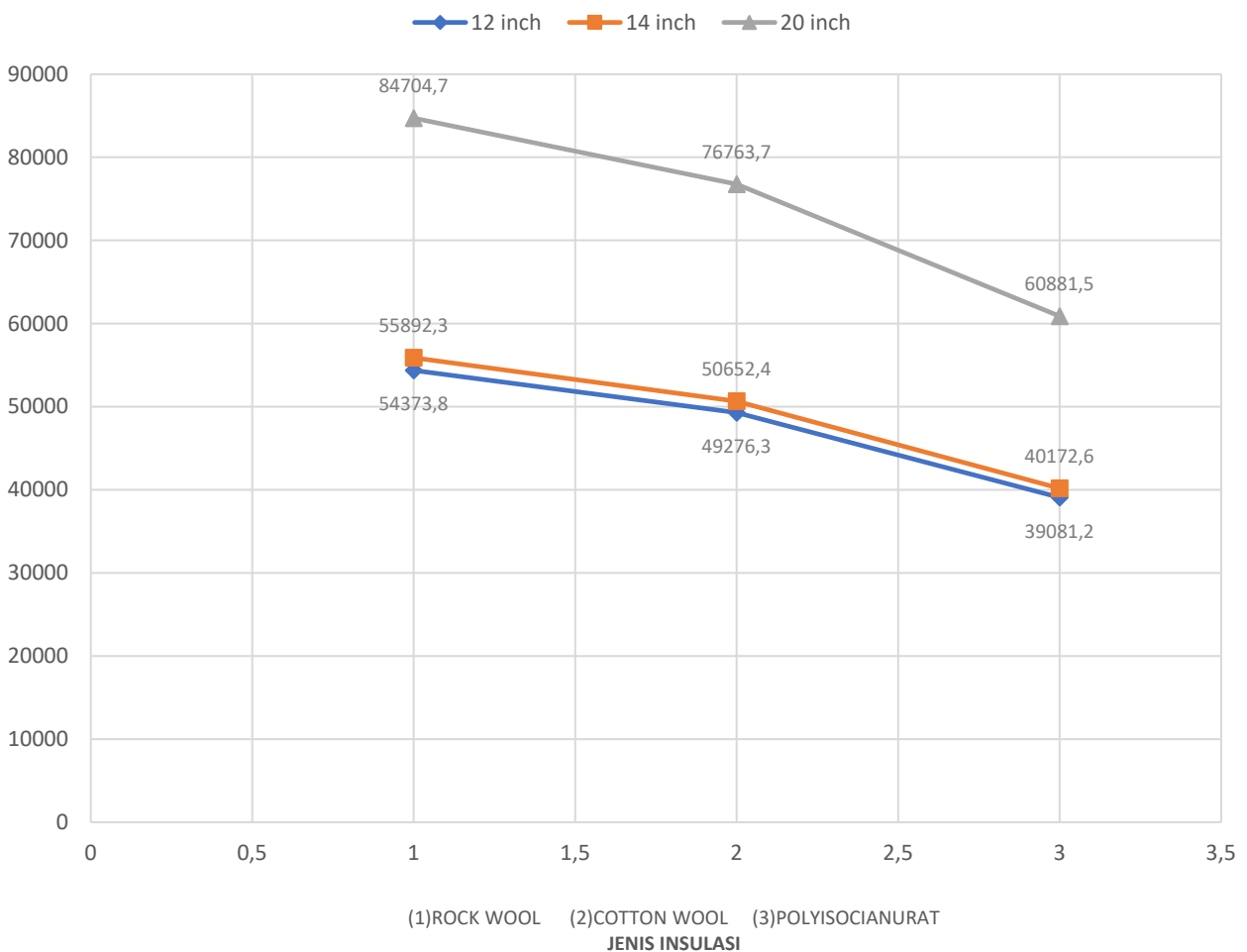
Pergantian bahan insulasi juga perlu dilakukan pada jalur pipa distribusi uap dari *WELLPAD A* ke *WELLPAD E*. Karena pada jalur tersebut terjadi *heat loss* yang paling besar diantara semua jalur lainnya. Nilai *heat loss* awal pada jalur *WELLPAD A* ke *WELLPAD E* dengan menggunakan insulasi *rock wool* adalah 228.178 kJ/s. Setelah dicoba dengan menggunakan insulasi jenis *cotton wool*, nilai *heat loss* berkurang menjadi 206.787 kJ/s. Sedangkan ketika dicoba menggunakan insulasi jenis *polyisocyanurate* nilai *heat loss* berkurang

menjadi 164.003 kJ/h. Maka disarankan untuk mengganti bahan insulasi pada jalur *Wellpad A* ke *WELLPAD E* dengan insulasi jenis *cotton wool*, karena dapat mengurangi *heat loss* dan ketahanan

terhadap panasnya juga masih memenuhi kondisi temperatur dilapangan. Sementara untuk insulasi jenis *polyisocianurate* tidak disarankan dikarenakan bahan insulasi tersebut hanya bisa menahan panas sampai dengan 300°F atau 148,8°C.



Gambar 2 Model simulasi *pressure drop*



Gambar 3 Grafik perbandingan bahan insulasi & diameter pipa terhadap *heat loss*

Analisis Keekonomian

Wellpad D ke wellpad B

Pada jalur ini direkomendasikan untuk dilakukan pergantian bahan insulasi dengan jenis insulasi *cotton wool*. Karena dapat mengurangi *heat loss* yang terjadi pada jalur ini. Bahan insulasi dijual per *roll*, dengan panjang 10m/roll. Dikarenakan panjang jalur adalah 1170 m, maka jumlah yang dibutuhkan adalah 117 roll. Harga untuk masing – masing rollnya adalah \$3,05 atau sekitar Rp.45.590,94. Maka untuk total biaya pembelian bahan insulasi jenis *cotton woll* adalah \$356,85 atau sekitar Rp.5.334.140,27.

Wellpad A ke wellpad E

Pada jalur ini direkomendasikan untuk dilakukan pergantian ukuran diameter pipa menjadi 14 inci dan pergantian jenis insulasi menjadi *cotton woll* untuk mengurangi *pressure drop* dan *heat loss* yang terjadi. Panjang jalur ini ada 1200 jadi untuk banyak insulasi yang diperlukan adalah 120 roll. Maka total biaya pembelian bahan insulasi untuk jalur ini adalah \$366 atau sekitar Rp.5.470.913,10. Sementara pipa ukuran 14 inci dijual per ton, dengan isi tiap ton adalah 15 batang. Untuk panjang tiap batang adalah 11,8 meter. Karena panjang jalur 1200 meter, maka total dibutuhkan adalah sekitar 102 batang atau sekitar 7 ton, dengan harga per ton \$680 atau sekitar Rp.10.164.538,00 maka total biaya pembelian pipa 14 inci adalah \$4.610,169492 atau sekitar Rp.68.912.122,04.

Total pekerja yang mengerjakan proyek ini adalah 75 orang yang digaji perhari, dan jangka waktu pekerjaan adalah 6 bulan atau 180 hari. Untuk rincian biaya lain-lain dapat dirincikan sebagai berikut.

Tabel 6
Perbandingan hasil penjualan daya listrik setelah optimasi

Keterangan	Biaya
Transportasi material	\$6.684,07
Transportasi pekerja	\$3.342,03
Sewa lahan material	\$668,41
Tempat tinggal	\$2.807,31
Total konsumsi selama pekerjaan	\$37.575
Total gaji selama pekerjaan	\$225.585

Dengan demikian total biaya untuk dilaksanakan proyek ini adalah sekitar \$281.628,82 atau sekitar Rp.4.209.745.648,52. Berikut adalah tabel perbandingan penjualan daya listrik sebelum dan sesudah dilakukan optimasi pada jalur pipa distribusi uap.

Tabel 7
Perbandingan hasil penjualan daya listrik setelah optimasi

Jangka Waktu	Sebelum	Sesudah
Hari	\$1.179,36	\$1.218,28
Bulan	\$35.380,80	\$36.548,36
Tahun	\$424.569,60	\$438.580,40

Dari Tabel 7 dapat dilihat bahwa, hasil penjualan daya listrik pertahun mengalami kenaikan sebesar \$14.010,7968. Untuk proyek ini dikatakan profit karena total pengeluaran untuk proyek ini, hanya setengah dari hasil penjualan daya listrik selama setahun, jadi proyek ini ekonomis untuk dijalankan.

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil perhitungan dan simulasi yang didapat, dapat dikatakan bahwa pembesaran diameter berpengaruh terhadap terjadinya *pressure drop* dan *heat loss*. Dimana ketika dilakukan pembesaran diameter pipa, maka *pressure drop* yang terjadi akan semakin kecil, sedangkan *heat loss* yang terjadi akan semakin besar. Bahan dan jenis insulasi juga akan mempengaruhi kondensasi yang terjadi didalam pipa alir, sehingga akan mempengaruhi *heat loss* yang akan terjadi. Semakin kecil nilai konduktivitas termal dari suatu bahan insulasi, maka akan semakin kecil *heat loss* yang terjadi.

Pada saat dilakukan pembesaran diameter pipa pada jalur *WELLPAD D* ke *WELLPAD B* dari 10 inch menjadi 14 inch, *pressure drop* yang terjadi pada jalur tersebut mengecil dari 0,53 bar menjadi 0,3 bar, sedangkan nilai *heat loss* meningkat dari 54.373,8 kJ/s menjadi 55.892,3 kJ/s. Ketika mengganti bahan insulasi pada jalur tersebut dengan besar diameter yang sama, nilai *heat loss* mengecil menjadi 50.652,4 kJ/s. Pada jalur *WELLPAD A* ke *WELLPAD E* dilakukan pergantian bahan insulasi yang awalnya *rock wool* menjadi *cotton wool*. Setelah diganti, nilai *heat loss* yang awalnya 228.178 kJ/s mengecil menjadi 206.787 kJ/s.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Politeknik Energi dan Mineral Akamigas, atas izin dan dukungan yang diberikan sehingga penelitian ini bisa diselesaikan.

DAFTAR ISTILAH/SINGKATAN

Simbol	Definisi	Unit
\$	Dollar	Satuan Mata Uang
Rp.	Rupiah	Satuan Mata Uang
kJ/s	Kilo Joule per sekon	Satuan Kalor
kJ/h	Kilo Joule per jam	Satuan Kalor
m	meter	Satuan Panjang
bar	bar	Satuan Tekanan
Ton/h	Ton per jam	Satuan massa
°C	Derajat Celcius	Satuan Suhu

KEPUSTAKAAN

- Álvarez del Castillo, A., Santoyo, E., García-Valadares, O.,** (2012). A new void fraction correlation inferred from artificial neural networks for modeling two-phase flows in geothermal wells. *Comput. Geosci.* 41, 25–39. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2011.08.001>
- Freston, D.H.,** (1975). Method for the analysis of geothermal two-phase flow. The Univ of Auckland.
- Haaland, S.E.,** (1983). Simple and Explicit Formulas for the Friction Factor in Turbulent Pipe Flow. *J. Fluids Eng.* 105, 89–90. <https://doi.org/10.1115/1.3240948>.
- Herman, G.C., Kirom, M.R., Herman, D.,** (2020). Analisis Heat Losses Dan Pressure Drops Pada Sistem Pemipaan Panas Bumi Terhadap Daya Masukan Turbin Dengan Simulasi Software Aspen Hysys Di Pt Geo Dipa Energi (persero) Unit Patuha. *EProceedings Eng.* 7.
- Martasari, R.D., Firdaus, F.,** (2019). Evaluasi Gradien Tekanan Sumur RDM Lapangan Geothermal. *J. Migasian* 3, 32–40. <https://doi.org/10.36601/jurnal-migasian.v3i1.64>.
- Pramudihadi, E.W., Ea, M.T.K.,** (2020). Kajian Kehilangan Tekanan dan Temperatur pada Fluida Dua Fasa Lapangan Panas Bumi Dieng. *Semin. Nas. Tek. Kim. Kejuangan* 2.
- Raco, R.P., Palilingan, R.N., Polii, J.,** (2021). Analisa Perbandingan Pressure Drop Metode Lockhart Martinelli, Homogenous Dan Harriston Freeston Dari Demister Ke Turbin Pada Unit 2 Plpt Lahendong. *J. FisTa Fis. Dan Ter.* 2, 43–48.
- Samsol, S., Pudyastuti, K., Lie, N.M.,** (2019). Material Insulasi Terhadap Efek Kehilangan Panas Pada Jalur Pipa Panas Bumi. *Petro J. Ilm. Tek. Perminyakan* 8, 163–166. <https://doi.org/10.25105/petro.v8i4.6209>.