

Perancangan *Fin-tube Surface Cleaning System* Untuk Pembersihan *Air-Cooled Heat Exchanger*

Ijlal Syaifullah^{1*}, Ratu Fenny Muldiani², Teguh Sasono²

¹Program Studi Teknologi Pembangkit Tenaga listrik, Jurusan Teknik Konversi Energi, Politeknik Negeri Bandung, Jl. Gegerkalong Hilir, Ciwaruga, Kec. Parongpong, Kabupaten Bandung Barat, Jawa Barat 40559

²Program Studi Teknik Konservasi Energi, Jurusan Teknik Konversi Energi, Politeknik Negeri Bandung, Jl. Gegerkalong Hilir, Ciwaruga, Kec. Parongpong, Kabupaten Bandung Barat, Jawa Barat 40559

*Corresponding author: ijlal.syaifullah.tptl19@polban.ac.id

Artikel info: Diterima: 03 Juli 2023 | Disetujui 28 Agustus 2023 | Tersedia online: 31 Agustus 2023
DOI: 10.32722/jmt.v4i2.5811

Abstrak

Pemeliharaan pembersihan permukaan luar fin-tube pada air-cooled heat exchanger dilakukan untuk menjaga performa agar tidak terganggu. Penurunan performa terjadi karena pengendapan zat pengotor berupa debu di permukaan luar fin-tube. Debu terakumulasi di atas sirip dan di antara sirip, debu terkumpul dalam bentuk bubuk halus dan bila terkena air dapat membentuk endapan berkerak. Pemeliharaan pembersihan masih dilakukan dengan menyprotkan air melalui selang yang dilakukan sepenuhnya menggunakan tenaga manusia selama 80 jam untuk keseluruhan permukaan fin-tube. Untuk meningkatkan efektifitas pembersihan diperlukan inovasi perancangan sistem pembersihan dengan mengalirkan air melalui pipa dan nozel. Rancangan dilakukan secara manual menggunakan perhitungan berprinsip dasar hukum Bernoulli serta dilakukan simulasi menggunakan Ansys Fluent. Rancangan menghasilkan tekanan kerja yang cukup untuk menyuplai air dan kecepatan inlet nozel 0,37 m/s pada masing – masing nozel berjumlah 36 buah setiap fan atau 648 buah untuk mencakup 18 fan. Pembersihan dapat dilakukan dengan baik ketika kecepatan masuk nozel sebesar 0,37 m/s yang membutuhkan waktu pembersihan 59 menit dan mampu membersihkan debu sebanyak $2,40 \times 10^{-8}$ kg dengan area pembersihan sebesar 0,75 m² setiap nozelnya. Sistem pembersihan dioperasikan secara manual bertahap setiap bulan, jika diakumulasikan akan membutuhkan waktu 17,70 jam untuk membersihkan secara keseluruhan. Untuk mendapatkan hasil yang baik proses pembersihan hanya dapat berlangsung ketika fan tidak beroperasi.

Kata-kata kunci: sistem perpipaan, pengotor, pemeliharaan preventif, nozel

Abstract

Maintenance cleaning of the outer surface of the fin-tube on air-cooled heat exchangers is essential to maintain optimal performance. Performance degradation occurs due to the accumulation of dust and impurities on the fin-tube surface, forming crusty deposits when exposed to water. Currently, manual cleaning using water spray takes 80 hours to cover the entire surface. To improve cleaning efficiency, an innovative design of a water flow system using pipes and nozzles was developed. The design was based on calculations using Bernoulli's law and simulations with Ansys Fluent. The design achieved sufficient working pressure and nozzle inlet velocity of 0,37 m/s for 648 nozzles to cover 18 fans. With this design, cleaning can be completed in 59 minutes, removing $2,40 \times 10^{-8}$ kg of dust per nozzle, covering a cleaning area of 0,75 m². The cleaning system is manually operated in monthly stages, requiring a total cleaning time of 17,70 hours. Effective cleaning is achieved by ensuring the fans are not in operation during the cleaning process.

Keywords: piping system, fouling, preventive maintenance, nozzles



1. PENDAHULUAN

Heat exchanger merupakan komponen yang di dalamnya terdapat aktifitas perpindahan panas antar fluida. Proses perpindahan panas dilakukan dengan memanfaatkan media pemisah untuk membawa dan memproses energi, sehingga fluida yang beroperasi tidak akan bercampur. Dunia industri banyak menggunakan heat exchanger dengan tujuannya masing – masing, baik itu untuk mendinginkan atau memanaskan.

Air-cooled heat exchanger ditemukan terdapat zat pengotor pada permukaan fin-tube berupa debu yang ditunjukkan pada Gambar 1. Zat pengotor pada permukaan penukar panas dapat menghambat laju perpindahan panas [1]. Debu terakumulasi di atas sirip dan di antara sirip, debu terkumpul dalam bentuk bubuk halus dan bila terkena air dapat membentuk endapan berkerak [2,3]. Secara umum, hanya terdapat dua atau tiga baris paling bawah dari fin-tube yang kotor. Hal ini disebabkan posisi fan berada di atas fin-tube yang beroperasi memanfaatkan udara di bawah fin-tube, sehingga debu yang berada di sekitar akan kontak langsung dengan fin-tube tanpa adanya penghalang.



Gambar 1 Kondisi fin-tube kotor

Preventive maintenance juga dilakukan pada air-cooled heat exchanger, kegiatan yang dilakukan adalah dengan membersihkan radiator atau fin-tube. Pekerjaan dilakukan menggunakan selang yang panjang untuk mencapai bagian terjauh dari sumber air servis karena dilakukan dengan menyemprotkan air secara manual menggunakan tenaga manusia. Sehingga, pekerjaan pembersihan waktu yang cukup lama yaitu 80 jam untuk mencakup secara keseluruhan fin-tube heat exchanger, selain itu juga membutuhkan man power yang cukup banyak yaitu 7 orang.

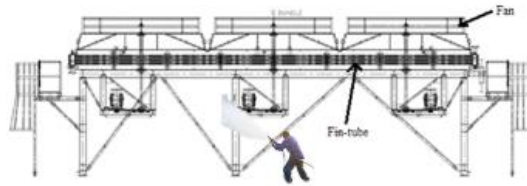
Diperlukan suatu perancangan sistem pembersihan untuk meningkatkan efektifitas pembersihan karena tenaga kerja atau man power tergantikan oleh sistem pembersihan serta menurunkan waktu pembersihan hingga 60% [4]. Sistem pembersihan yang menggunakan spray nozzle dapat mengurangi debu hingga 80% [5]. Berbeda dengan penelitian sebelumnya, penelitian ini akan diaplikasikan pada *fin-tube air-cooled heat exchanger* sehingga perlu penyesuaian terkait kebutuhan sistem pembersihan serta hasil simulasi menjadi parameter keberhasilan dari proses pembersihan yang dilakukan oleh sistem yang akan dirancang.

Sistem pembersihan akan memberikan kemudahan saat melakukan pekerjaan karena tidak perlu melakukan penyemprotan secara manual oleh man power dan tekanan dapat disesuaikan dengan kebutuhan. Selain itu, sistem pembersihan akan mempersingkat waktu pekerjaan karena dapat dilakukan secara bersama – sama pada setiap kelompok fin-tube. Sistem pembersihan akan memberikan fasilitas penyebaran air pada setiap fin-tube karena air sudah disalurkan menuju fin-tube. Tujuan dari penelitian ini untuk merancang sistem pembersihan bagi permukaan *fin-tube* bagian luar pada *air cooled heat exchanger* agar kegiatan pemeliharaan dapat dilakukan dengan memberikan akses bagi air menuju fin-tube.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Heat Exchanger

Heat exchanger merupakan mesin penukar panas dengan menggunakan prinsip perpindahan panas. Perpindahan panas tersebut mengalir dari fluida kerja temperatur tinggi menuju fluida kerja dengan temperatur lebih rendah. Sehingga fluida kerja yang mulanya memiliki temperatur tinggi akan berubah menjadi lebih rendah, hal ini berlaku sebaliknya bagi fluida kerja dengan temperatur rendah.



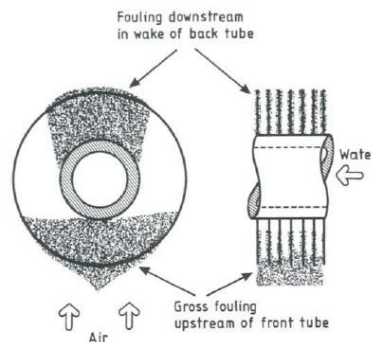
Gambar 2 Konstruksi air-cooled heat exchanger tipe induced draft

Air-cooled heat exchanger menggunakan prinsip kerja konveksi paksa dengan memanfaatkan fan dan motor sebagai penggeraknya serta fin-tube sebagai pembawa air demineralisasi. Di mana posisi fin-tube berada di posisi hisap fan atau biasa disebut sebagai induced draft (Gambar 2).

2.2 Zat Pengotor

Zat pengotor pada heat exchanger merupakan masalah utama bagi industri proses dan industri pembangkit listrik. Zat pengotor digambarkan sebagai penumpukan zat yang tidak diinginkan pada permukaan perpindahan panas dan di saluran aliran baik aliran fluida panas maupun fluida dingin. Adanya zat pengotor yang menumpuk mengakibatkan penurunan performa perpindahan panas dan penurunan tekanan [6].

Gambar 3 memperlihatkan bagaimana endapan terakumulasi di tepi tabung bersirip, keberadaan endapan akan sangat mempengaruhi aliran udara saat melewati tepi tabung bersirip. Distribusi aliran sudah kompleks karena adanya tabung bersirip pada sudut melawan arah aliran. Pola aliran tentu akan bergantung pada area bebas yang tersedia untuk aliran [7]. Zat pengotor yang berada di daerah pesisir pantai memiliki rata – rata ukuran 20,9 μm [8].



Gambar 3 Akumulasi zat pengotor pada fin-tube

2.3 Spray Nozzle

Spray nozzle adalah sebuah perangkat yang digunakan untuk mengubah energi yang tersedia dari fluida bertekanan menjadi energi kinetik dalam proses ekspansi. Nozel biasanya digunakan untuk membersihkan, mendinginkan dan aplikasi lainnya. Tentu untuk memenuhi kebutuhan industri yang beraneka ragam tersedia banyak karakteristiknya masing – masing seperti, cone nozzle, flat fan nozzle, dan flood nozzle.

2.4 Sistem Perpipaan

Sistem perpipaan merupakan suatu sistem yang digunakan sebagai penghantar antar komponen untuk mengalirkan fluida [9]. Fluida yang biasa digunakan pada sistem tersebut dapat berupa gas atau liquid dengan mematuhi ketentuan yang berlaku. Sistem perpipaan ini terdiri dari pipa, katup, fittings, gasket, dan flange [10]. Dalam melakukan perancangan sistem perpipaan terdapat faktor gesekan pada setiap jenis aliran dengan mempertimbangkan diameter dalam pipa, kekasaran pipa, dan bilangan Reynolds. Pada Tabel 1 menunjukan besar nilai kekasaran material pipa yang akan digunakan untuk melakukan perancangan sistem perpipaan terkait rugi – rugi yang terjadi akibat penggunaan material pipa [11].

Tabel 1 Kekasaran internal pipa

Material Pipa	Kekasaran	
	in	mm
<i>Riveted steel</i>	0,035 – 0,35	0,9 – 9,0
<i>Commercial steel/welded steel</i>	0,0018	0,045
<i>Cast iron</i>	0,010	0,26
<i>Galvanized iron</i>	0,006	0.15
<i>Asphalted cast iron</i>	0.0047	0.12
<i>Wrought iron</i>	0.0018	0.045
<i>PVC, drawn tubing, glass</i>	0.000059	0.0015
<i>Concrete</i>	0.0118 – 0.118	0.3 – 3.0

2.5 Perhitungan

Rancangan sistem perpipaan dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut [11]:

- 1) Menghitung viskositas fluida

$$v = \frac{\mu}{\rho} \quad (1)$$

- 2) Menghitung kecepatan fluida

$$V = \frac{Q}{\frac{\pi D^2}{4}} \quad (2)$$

- 3) Menghitung Bilangan Reynold

$$R = \frac{VD\rho}{\mu} \quad (3)$$

- 4) Menghitung tekanan setiap titik [12]

$$Z_A + \frac{P_A}{\gamma} + \frac{V_A^2}{2g} = Z_B + \frac{P_B}{\gamma} + \frac{V_B^2}{2g} + h_f \quad (4)$$

- 5) Menghitung rugi – rugi

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \quad (5)$$

Perhitungan kandungan debu yang menempel dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut [13]:

- 1) Menghitung massa debu

$$m_{debu} = f_t \xi_t K \quad (6)$$

- 2) Menghitung frekuensi tumbukan debu

$$f_t = \frac{\sqrt{2}}{2} n^2 V_{udara} \pi D_{debu}^2 \quad (7)$$

3. METODOLOGI PENELITIAN

Rancangan dilakukan secara manual menggunakan bantuan AutoCAD dan Microsoft Excel.

3.1 Perhitungan Kandungan Debu

Perhitungan dilakukan dengan menggunakan persamaan 6 dan 7, sehingga didapatkan kisaran kandungan debu yang menempel pada fin-tube.

3.2 Penentuan Jenis Nozel

Ditentukan nozel dengan jenis full cone nozzle seri INJX-SS untuk mencakup bagian yang diperkirakan mudah untuk dijangkau oleh sistem perpipaan. Penentuan didasarkan dari keunggulan dan cakupan optimum nozel yang telah disesuaikan oleh industri.

3.3 Menghitung Kebutuhan Nozel Dan Airnya

Perhitungan kebutuhan nozel didasarkan dari kebutuhan bagian yang akan dicakup secara keseluruhan. Kebutuhan air dapat ditentukan berdasarkan spesifikasi nozel tercantum oleh industri di katalog yang dikalikan oleh kebutuhan nozel.

3.4 Membuat Rancangan Awal Pipeline System

Rancangan awal dilakukan menggunakan AutoCAD dengan menyesuaikan dimensi heat exchanger.

Tabel 2 Dimensi *Heat exchanger*

Dimensi <i>Heat Exchanger</i> (Tanpa fan)	
Tinggi	5,95 m
Panjang x Lebar	34,020 m x 14,35 m
Bagian <i>Fan</i>	
Diameter	4,2672 m
Tinggi	1,2 m
Panjang x Lebar	4,665 m x 5,67 m

3.5 Perhitungan Parameter Kerja Sistem

Perhitungan parameter kerja sistem dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan 1 hingga 5. Perhitungan disesuaikan dengan hasil rancangan awal pipeline sistem yang telah dibuat sebelumnya. Material pipa yang digunakan adalah *Commercial steel/welded steel* karena fluida kerja hanya berupa air dan keunggulannya menjadi bahan pertimbangan.

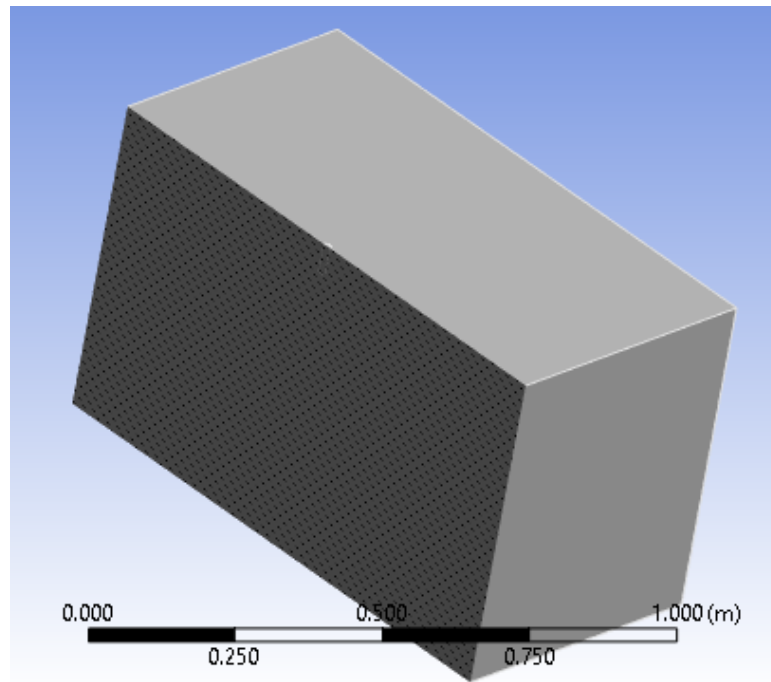
Tabel 3 Parameter awal perancangan *pipeline system*

Parameter	Nilai	Satuan	Nilai	Satuan
Fluida Air Servis (<i>service water</i>)				
Tekanan (P)(awal)	8	bar	8×10^5	Pa
Debit (Q)	134	m ³ /h	0,037222	m ³ /s
Kerapatan (ρ)	994	kg/m ³	0,000994	g/mm ³
Vis. At PT. (μ)	1	m.Pa.s	0,001	N.s/m ²
Pipa 1 (Pipa Utama)				
Diameter dalam	3	inch	0,0762	m
Pipa 2 (Pipa Nozel)				
Diameter dalam	2	inch	0,0508	m

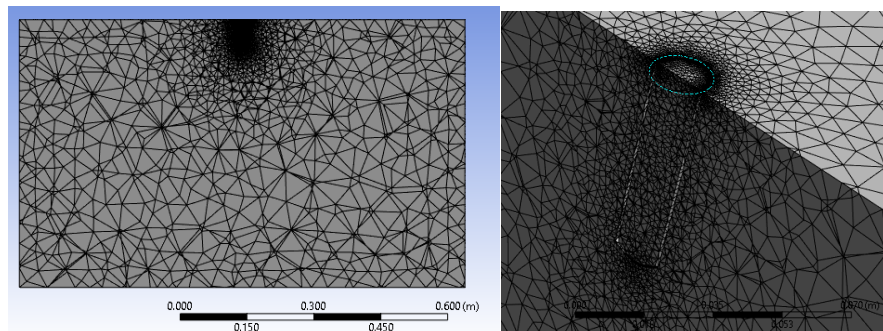
3.6 Melakukan Simulasi Menggunakan Ansys Fluent

Simulasi dilakukan dengan menggunakan Ansys Fluent dengan melalui proses pembuatan geometri (Gambar 4), melakukan meshing (Gambar 5), dan tahap pengaturan yang dilanjutkan dengan proses simulasi. Geometri yang dibuat terdiri dari bentuk nozel dan ruang fluida yang akan dilakukan simulasi. Bagian *body* nozel akan berperan sebagai *wall* pada proses simulasi.

Untuk mendapatkan pendekatan hasil pembersihan yang dapat dilakukan oleh nozel. Pada simulasi menggunakan DPM (Discrete Phase Model) dengan model fisika erosi untuk menghasilkan efek erosi yang terjadi pada debu di fin-tube. Proses pengaturan DPM menggunakan *injection cone* dengan parameter yang telah didapatkan, baik dari hasil perancangan dan spesifikasi nozel.



Gambar 4 Geometri nozel yang akan mengalirkan fluida air



Gambar 5 Meshing geometri nozel

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

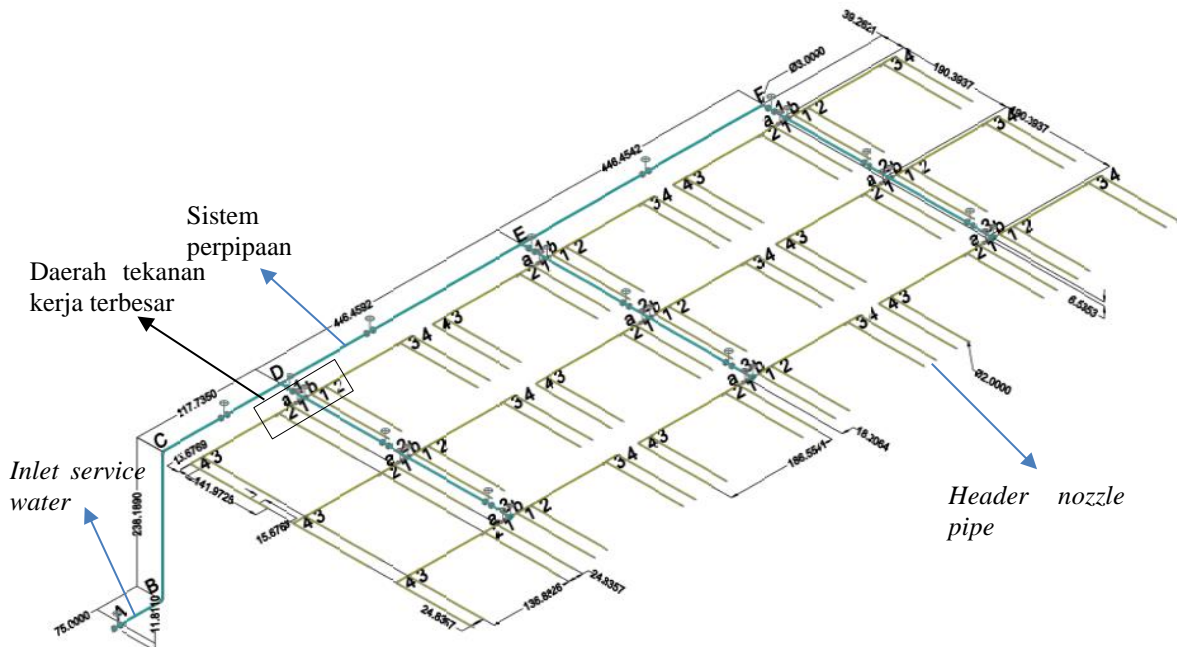
Rancangan sistem pembersihan terdiri dari pipa, fittings, katup dan nozel. Penentuan ukuran pipa didasari oleh hasil perhitungan manual dengan bantuan *software Microsoft excel* dan menyesuaikan kondisi pipa yang telah ada di lapangan. Ukuran pipa untuk pipa utama yang akan berperan sebagai *header* dari suplai air berukuran 3 inci, sedangkan ukuran pipa untuk mengalirkan air menuju setiap nozel berukuran 2 inci.

Penggunaan pipa ditentukan pada ukuran 3 inci atau 0,0762 m dan 2 inci atau 0,0508 m, hal ini berlaku juga bagi fittings dan katup. Material commercial steel/welded steel menjadi pilihan karena ketahanannya terhadap korosi dan akan jauh lebih baik ketika dilapisi oleh cat anti-korosi untuk menghambat laju korosi. Pelapisan pada pipa dimaksudkan untuk umur pakai dari sistem pembersihan yang lebih panjang terlebih jika dilakukan pemeliharaan pada sistem pembersihan ini.

Terkait material yang digunakan, commercial steel/welded steel juga memiliki kekasaran pada pipa sebesar 0,045 mm. faktor kekasaran pada pipa akan menjadi variabel untuk menentukan besar nilai dari faktor gesekan yang terjadi sepanjang pipa atau biasa disebut rugi – rugi sepanjang pipa. Rugi – rugi yang terjadi akan

menurunkan besar tekanan yang beroperasi pada sistem, sehingga diperlukan menekan besarnya nilai rugi – rugi yang terjadi pada sistem.

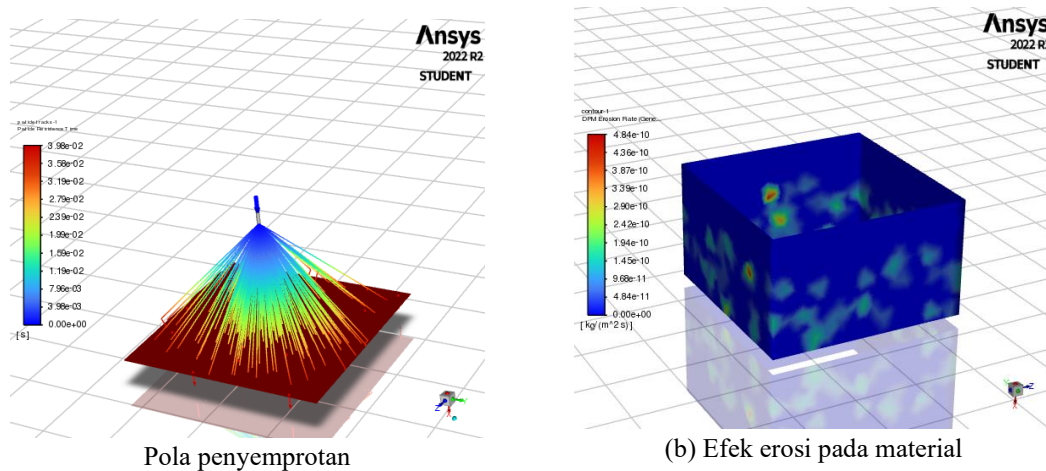
Berdasarkan hasil rancangan yang telah dilakukan pada Gambar 6 dengan mengoperasikan persamaan (4) pada setiap titik yang telah ditentukan pada Gambar 6, sistem akan mengalami penurunan tekanan akibat adanya rugi – rugi sepanjang pipa maupun penggunaan fittings, katup. Sistem mulanya mengalirkan air bertekanan 8 bar pada titik A, namun karena adanya rugi – rugi tekanan sistem akan menurun hingga tekanan 7,2801 bar pada pipa cabang F3 untuk header nozel 4. Tetapi sistem masih dapat beroperasi dengan baik untuk melakukan penyemprotan melalui nozel.



Gambar 6 Dimensi Desain Sistem Perpipaan hasil rancangan

Tekanan kerja pada nozel terbesar berada di titik cabang D1 bagian a dan b header 1 nozel 1 yaitu 7,40 bar. Tekanan kerja terkecil berada di titik cabang F3 bagian 2 a dan b header 4 nozel 8 yaitu 7,32 bar. Tetapi, nozel masih dapat bekerja dengan baik karena masih dalam tekanan kerja atau dalam lingkup spesifikasi nozel. Rancangan yang telah dilakukan menghasilkan kebutuhan nozel setiap *fan* dengan membandingkan antara luas daerah *fin-tube* setiap *fan* dan luas daerah kemampuan nozel dapat menyemprot, kebutuhan nozel keseluruhan dapat didapatkan dengan menjumlahkan total kebutuhan nozel setiap *fan* secara keseluruhan pada *air-cooled heat exchanger*. Kebutuhan nozel seri INJX-SS sebanyak 648 buah untuk mencakup 18 bagian dari *air-cooled heat exchanger*. Setiap bagian dari heat exchanger tersebut akan dibagi secara rata sebanyak 36 buah nozel. Hasil perhitungan kebutuhan nozel dilakukan berdasarkan spesifikasi nozel dan penyesuaian pada parameter kerja hasil perhitungan suplai yang telah ada.

Berdasarkan spesifikasi nozel, hasil perhitungan yang telah dilakukan pada bagian output sistem perpipaan menuju nozel dengan menggunakan persamaan (2), didapatkan kebutuhan kecepatan fluida air mulai masuk menuju nozel sebesar 0,37 m/s. Ketika air sudah akan keluar dari nozel atau sesaat sebelum keluar menuju atmosfer, kecepatan air akan meningkat karena adanya persempitan dimensi yang mulanya 15 mm menjadi 1,7 mm. Kecepatan sesaat sebelum terlepas menuju atmosfer sebesar 28,46 m/s, sehingga ketika air bergerak menuju *fin-tube* dan memiliki sudut pelebaran 75° .



Gambar 7 Hasil simulasi nozel kondisi output 28,46 m/s

Berdasarkan hasil simulasi pada Gambar 7, menyatakan bahwa kecepatan fluida air 28,46 m/s dapat melakukan penyemprotan. Parameter yang digunakan untuk melakukan penyemprotan juga menghasilkan laju erosi terbesar $4,84 \times 10^{-10} \text{ kg/m}^2\text{s}$. Jika efek erosi diperlebar sebesar daerah penyemprotan setiap nozel $0,75 \text{ m}^2$ selama 1 jam beroperasi, maka akan menghasilkan:

$$\text{efek erosi (1jam)} = 4,84 \times \frac{10^{-10} \text{ kg}}{\text{m}^2 \text{ s}} \times 0,75 \text{ m}^2 = (3,62 \times 10^{-10} \text{ kg/s}) \times 3600 \text{ s} = 6,77 \times 10^{-10} \text{ kg}$$

Efek erosi yang terjadi pada debu ketika penyemprotan dilakukan oleh 1 buah nozel mencakup $0,75 \text{ m}^2$ sebesar $3,62 \times 10^{-10} \text{ kg/s}$. Sehingga, ketika 1 buah nozel beroperasi selama 1 jam akan memberikan efek erosi $6,77 \times 10^{-10} \text{ kg}$. Jika hasil perhitungan efek erosi satu buah nozel selama 1 jam diperluas menjadi 36 buah nozel yang akan beroperasi untuk membersihkan satu daerah atau satu fan dengan membandingkan kandungan debu dan efek erosi yang dihasilkan oleh 36 buah nozel yang beroperasi selama 8 jam, maka akan menghasilkan:

$$\text{efek erosi 36 nozel (1jam)} = 36 \times 6,7667 \times 10^{-10} \text{ kg} = 2,436 \times 10^{-8} \text{ kg}$$

$$\text{waktu pembersihan (18 fan)} = \left(\frac{2,3957 \times 10^{-8} \text{ kg}}{2,436 \times 10^{-8} \text{ kg}} \right) \times 18 = 0,9834 \text{ jam} \times 18 = 17,70 \text{ jam}$$

Berdasarkan hasil perhitungan, pelaksanaan pembersihan dilakukan dengan menyemprotkan air melalui 36 buah nozel setiap satu fan atau satu bagian dari delapan belas bagian, maka akan membersihkan $2,40 \times 10^{-8} \text{ kg}$ debu serta akan membutuhkan waktu 0,98 jam atau 59 menit. Namun, sistem ini tidak sepenuhnya dapat mencakup secara keseluruhan permukaan luar air-cooled heat exchanger karena akses yang terbatas yaitu terdapat poros dan baling – baling kipas. Kegiatan pembersihan masih perlu dilakukan secara manual untuk membersihkan bagian yang tidak terjangkau oleh sistem pembersihan, tetapi dengan frekuensi yang lebih kecil karena telah terdapat bagian yang dibersihkan sistem pembersihan.

Pelaksanaan pembersihan dilakukan secara bertahap atau secara terjadwal antara bagian 1 atau fan 1 dan bagian atau fan lainnya, jika diakumulasikan akan membutuhkan waktu 17,70 jam untuk membersihkan secara keseluruhan. Hal ini dilakukan karena kebutuhan fan yang harus beroperasi sebanyak 17 buah ketika 2 buah turbin gas beroperasi atau 12 buah fan saat 1 buah turbin gas beroperasi. Pelaksanaan pembersihan hanya dapat dilakukan ketika fan tidak beroperasi untuk hasil yang baik karena penempatan nozel yang lebih rendah dari fan dan lebih tinggi daripada fin-tube. Jika tetap dioperasikan saat fan beroperasi, diperkirakan akan mengganggu sistem pembersihan yang mengakibatkan debu pada fin-tube tidak dapat dibersihkan.

Berdasarkan hasil perhitungan sistem perpipaan yang telah dirancang dapat bekerja dengan baik, rugi – rugi pada sistem menjadi penyebab turunnya tekanan kerja hingga mencapai 7,28 bar. Tekanan terendah dengan 7,28 bar terjadi pada titik terjauh dari sistem yang telah dirancang, sehingga sistem dapat mengalirkan fluida air karena kebutuhan suplai air bagi nozel terkait dapat terpenuhi dan menunjukkan hasil yang baik oleh simulasi menggunakan Ansys Fluent. Spesifikasi nozel menjadi batasan tekanan kerja yang dapat diterima, namun hasil dari rancangan menunjukkan sistem akan bekerja sesuai dengan spesifikasi nozel sehingga sistem akan bekerja dengan baik.

Penggunaan nozel telah ditunjukkan oleh hasil simulasi menunjukkan bahwa nozel dengan kecepatan inlet $0,37 \text{ m/s}$ dapat digunakan untuk membersihkan permukaan luar fin-tube karena kemampuannya yang dapat beroperasi dengan baik. Sistem pembersihan dioperasikan secara manual melalui sistem perpipaan dan bertahap

setiap bulan sebagai penghantar fluida air servis menuju nozel yang akan melakukan penyemprotan pada fin-tube. Untuk mendapatkan hasil yang baik, proses pembersihan hanya dapat berlangsung ketika fan tidak beroperasi.

5. KESIMPULAN

Rancangan sistem pembersihan bagi permukaan fin-tube bagian luar pada air-cooled heat exchanger menghasilkan bahwa sistem bekerja dengan baik meskipun terdapat rugi – rugi pada sistem yang menyebabkan turunnya tekanan. Rancangan menghasilkan kebutuhan nozel untuk melakukan kebersihan sebanyak 36 buah, kecepatan air pada inlet nozel 0,37 m/s menunjukkan hasil pembersihan yang baik dengan waktu operasi 59 menit dan mampu membersihkan debu sebanyak $2,40 \times 10^{-8}$ kg. Sistem pembersihan dioperasikan secara manual bertahap setiap bulan, jika diakumulasikan akan membutuhkan waktu 17,70 jam untuk membersihkan secara keseluruhan. Untuk mendapatkan hasil yang baik proses pembersihan hanya dapat berlangsung ketika fan tidak beroperasi.

REFERENSI

1. T. Lestina, in *Handbook of Thermal Science and Engineering* (Springer International Publishing, Cham, 2017), pp. 1–33.
2. Mitsubishi Hitachi Power Systems, (2019).
3. H. V. Inamdar, E. A. Groll, J. A. Weibel, and S. V. Garimella, *International Journal of Refrigeration* (2023).
4. A. Abdulah, A. Djafar Shieddieque, D. Ardi Rajab, C. Anwar, and K. Utama, **42**, (n.d.).
5. D. Prostański, *Journal of Sustainable Mining* **12**, 29 (2013).
6. T. R. Bott and C. R. Bemrose, *J Heat Transfer* **105**, 178 (1983).
7. T. R. Bott, *Fouling of Heat Exchanger* (Elsevier, New York, 1995).
8. Y. Sun, Y. Zhang, D. Barker, F. Steve, and M. Johnson, *ASHRAE Trans* (2012).
9. R. A. Parisher and R. A. Rhea, *Pipe Drafting and Design*, 2nd ed. (Gulf Professional Pub, Boston, 2002).
10. D. J. Whistance and D. R. Sherwood, *The Piping Guide For The Design and Drafting of Industrial Piping Systems*, 1st ed. (United States, 1973).
11. E. S. Menon, *Piping Calculations Manual* (McGraw-Hill, New York, 2005).
12. I. G. Rasagama, R. F. Muldiani, and K. Hadiningrum, *PROSIDING SEMINAR NASIONAL FISIKA (E-JOURNAL)* **5**, (2016).
13. D. Zhuang, G. Ding, Y. Yang, F. Zhan, Y. Gao, and J. Song, *International Refrigeration and Air Conditioning* (2018).