

ANALISIS PERPINDAHAN PANAS PADA SISI SHELL DAN TUBE PADA APK DI PLTG PAYA PASIR

Habib Rizieq¹, Imam Ghozali², Abdi Hanra Sebayang³

Teknik Mesin^{1,2,3}, Teknik Mesin, Politeknik Negeri Medan

habibrizieq@students.polmed.ac.id¹, imamghozali@students.polmed.ac.id²,

abdisebayang@polmed.ac.id³

ABSTRAK

Sistem pendingin pada mesin pembangkit listrik tenaga gas (PLTG) bertujuan untuk menurunkan temperatur *generator, turbine support legs, flame detectors* dan *lubricating oil* sehingga mencegah *overheating*. *Lubricating oil* berperan penting dalam menyalurkan oli sehingga melumasi dan mendinginkan komponen bearing pada mesin PLTG. Alat penukar kalor (APK) *shell and tube* pada *lubricating oil* menggunakan air demin (aquades + NaOH) sebagai media pendingin. Penelitian ini berfokus pada analisis APK *shell and tube* yang digunakan pada sistem pendingin *lubricating oil* di PLTG unit 7 Paya Pasir. Penelitian ini menggunakan metode analisis termal untuk mengevaluasi APK *shell and tube*, membandingkan perbedaan temperatur masuk dan keluar pada *lubricating oil*. Data operasional dikumpulkan langsung dari PLTG Unit 7 Paya Pasir. APK *shell and tube* pada *lubricating oil* bekerja dengan cara mengalirkan fluida oli pada sisi *shell* (dengan temperatur masuk 75 °C dan temperatur keluar 55 °C) dan fluida air pendingin (air demin) pada sisi *tube* (dengan temperatur masuk 30 °C dan temperatur keluar 40 °C). Hasil yang diperoleh dari perhitungan adalah perbedaan temperatur rata-rata log (LMTD) sebesar 8,5714 °C, koefisien perpindahan panas menyeluruh pada APK *shell and tube* 0,1661 W/m² °C, jumlah panas yang masuk pada APK *shell and tube* sebesar 138,7894905 kW, dan efektivitas (ϵ) APK *shell and tube* sebesar 57,14%.

Kata Kunci : APK, *Shell and Tube*, PLTG, *Lubricating Oil*

PENDAHULUAN

Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) adalah jenis pembangkit listrik yang menggunakan *Liquefied Natural Gas* (LNG) dan *High Speed Diesel* (HSD) sebagai bahan bakar utama untuk menghasilkan listrik. Proses pembangkitan listrik di PLTG dimulai dengan pengompresan udara di kompressor selanjutnya udara menuju ruang bakar (*combustion chamber*). Udara panas yang dihasilkan oleh ruang bakar masuk ke dalam turbin, yang kemudian menjadi gas panas sebagai penggerak generator untuk menghasilkan listrik. Saat beroperasi mesin PLTG terjadi gesekan antara komponen-komponen (*bearing, gear box, clutch/kopling*) dalam mesin sehingga menghasilkan panas yang signifikan.

Pemanasan berlebih ini dapat mengurangi efisiensi mesin PLTG dan bahkan menyebabkan kerusakan pada komponen-komponen yang terlibat. Temperatur yang tinggi tidak efektif lagi sehingga dapat mempengaruhi kinerja mesin PLTG. Untuk menjaga temperatur komponen-komponen pada mesin PLTG dalam batas aman, diperlukan sistem pendinginan yang efektif.

Sistem pendingin pada mesin PLTG bertujuan untuk menurunkan temperatur (*generator, turbine support legs, flame detectors* dan *lubricating oil*) sehingga mencegah *overheating*, dan menjaga mesin PLTG agar tetap optimal. Sistem pendingin merupakan bagian penting dari strategi pemeliharaan *preventif* pada mesin PLTG. Dengan menjaga temperatur tetap stabil, sistem pendinginan membantu memperpanjang umur pakai mesin, mengurangi risiko kegagalan, dan meminimalkan *downtime*. Sistem pendingin yang efektif pada mesin PLTG dapat meningkatkan keandalan dan efisiensi operasi. Dengan menjaga temperatur mesin dalam batas yang aman, sistem pendinginan membantu mencegah kerusakan pada komponen-komponen kritis dan memastikan bahwa PLTG dapat beroperasi secara optimal. Salah satu komponen mesin PLTG yang perlu didinginkan adalah *lubricating oil*.

Lubricating oil berperan penting dalam menyalurkan oli sehingga melumasi dan mendinginkan komponen *bearing* pada mesin PLTG. Alat penukar kalor (APK) *shell and tube* di PLTG unit 7

Paya Pasir berada didalam bagian *lubricating oil*. APK *shell and tube* pada *lubricating oil* menggunakan air demin sebagai fluida air pendingin. Air demin adalah kombinasi dari *aquades* dengan NaOH. Air demin sebagai fluida pendingin memiliki temperatur 30 °C sampai 40 °C dan oli sebagai fluida yang didinginkan memiliki temperatur 55 °C sampai 75 °C. Proses pelumasan ini menyebabkan temperatur oli meningkat yang nantinya akan menguap, sehingga dibutuhkan fluida pendingin untuk meminimalisir penguapan pada oli. Proses perpindahan panas ini terjadi karena perbedaan temperatur antara oli dan fluida air pendingin (air demin). Air demin dipilih sebagai fluida pendingin untuk mencegah korosi didalam pipa.

Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis efektivitas APK *shell and tube* dengan cara menilai seberapa efektif APK *shell and tube* dalam menurunkan temperatur pada sistem pendingin di *lubricating oil*, dengan fokus pada meminimalisir penguapan oli.

Batasan Masalah

Penelitian ini terbatas pada jenis APK *shell and tube* pada *lubricating oil* yang digunakan pada PLTG Unit 7 Paya Pasir. *Lubricating oil* yang digunakan pada PLTG Unit 7 Paya Pasir hanya berfungsi melumasi dan mendinginkan komponen *bearing*. Analisis perpindahan panas yang dilakukan hanya berfokus pada *lubricating oil* dengan *turbine bearings*.

TINJAUAN PUSTAKA

Efektivitas

Efektivitas APK pada sistem pendingin merupakan ukuran kinerja yang menunjukkan seberapa baik APK dapat mentransfer temperatur. Dari temperatur fluida yang tinggi menjadi fluida dengan temperatur lebih rendah tanpa memerlukan *input* energi tambahan yang signifikan. Efektivitas ini secara langsung mempengaruhi efisiensi termal dan keberlanjutan operasional (Arifin, 2016). APK pada sistem pendingin diaplikasikan di industri, seperti pembangkit listrik, proses manufaktur, dan sistem *Heating, Ventilation, and Air Conditioning* (HVAC).

APK

APK (*heat exchanger*) dalam sistem pendingin adalah komponen utama yang berfungsi untuk menurunkan dan menaikkan temperatur fluida. Dalam konteks sistem pendinginan, APK beroperasi dengan menyerap panas berlebih dari proses atau peralatan yang perlu didinginkan dan kemudian melepaskan panas tersebut ke lingkungan atau ke media pendingin lain yang lebih efektif dalam menyerap panas (Pandia, 2023).

Perpindahan Panas

Perpindahan panas (*heat transfer*) adalah perpindahan energi yang terjadi karena adanya perbedaan temperatur di antara benda dan material. Energi yang pindah itu dinamakan kalor atau bahang atau panas (*heat*). Ilmu perpindahan panas tidak hanya mencoba menjelaskan tentang bagaimana energi kalor itu berpindah dari satu benda ke benda yang lain, tetapi juga dapat memperhitungkan laju perpindahan yang terjadi pada kondisi-kondisi tertentu. Perpindahan panas memainkan peran penting dalam berbagai proses alam dan aplikasi teknis, mempengaruhi benda dan fluida dalam berbagai cara. Efek perpindahan panas pada benda dan fluida dapat diamati dalam perubahan temperatur, perubahan fase, ekspansi termal, stres termal, perubahan dalam properti fisik (konduktivitas dan viskositas) dan perubahan dalam properti kimia (reaksi kimia) (Risti, 2016).

Mekanisme Perpindahan Panas

Radiasi adalah proses perpindahan panas yang terjadi melalui gelombang elektromagnetik. Tidak seperti konduksi dan konveksi, radiasi tidak memerlukan medium materi untuk terjadi dan dapat berlangsung di ruang hampa (vakum) (Wahyono & Rochani, 2019). Matahari adalah contoh sumber panas radiatif, memancarkan energinya ke Bumi melalui ruang hampa.

Konduksi adalah proses perpindahan panas melalui bahan atau objek tanpa adanya perpindahan massa. Dalam konduksi, energi panas berpindah dari molekul ke molekul atau dari atom ke atom

melalui tumbukan langsung atau melalui elektron bebas dalam konduktor (Andika et al., 2023). Bahan-bahan seperti logam merupakan konduktor yang baik karena memiliki elektron bebas yang banyak, yang memudahkan perpindahan panas. Sebaliknya, bahan seperti kayu atau *styrofoam* merupakan isolator yang buruk dalam menghantarkan panas.

Konveksi adalah proses perpindahan panas yang terjadi dalam fluida (cairan atau gas) melalui perpindahan massa dalam fluida tersebut (Supu et al., 2017). Saat suatu bagian dari fluida dipanaskan, fluida menjadi lebih ringan dan naik ke atas, sedangkan fluida yang lebih dingin akan turun ke bawah, menciptakan arus konveksi yang mengangkut panas. Konveksi adalah mekanisme utama yang menyebabkan perpindahan panas di atmosfer, lautan, dan dalam sistem pemanasan dan pendinginan.

Lubricating Oil

Lubricating oil pada PLTG berperan penting dalam meyalurkan oli untuk memastikan sistem operasional lancar dan efisien dari peralatan utama, khususnya turbin gas dan generator. *Lubricating oil* ini tidak hanya mengurangi gesekan antara bagian-bagian bergerak untuk menghindari keausan, tetapi juga berfungsi dalam berbagai kapasitas lain untuk memelihara kesehatan mekanis dari sistem seperti mendinginkan komponen-komponen (*bearing, gear box*), perlindungan terhadap korosi dan meredam suara kebisingan.

Teori Perpindahan Panas

Temperatur fluida untuk menentukan sifat-sifat fluida dingin atau panas maka terlebih dahulu menentukan temperatur rata-rata fluida masuk dan keluar yang dapat menggunakan persamaan menurut buku *Heat Transfer* karanagan (Holman, 1986), sebagai berikut:

$$\text{Fluida air pendingin } T_c = \frac{T_{ci} + T_{co}}{2} \quad (1)$$

$$\text{Fluida oli } T_h = \frac{T_{hi} + T_{ho}}{2} \quad (2)$$

Keterangan:

- T_{ci} = Temperatur air pendingin masuk (°C)
- T_{co} = Temperatur air pendingin keluar (°C)
- T_{hi} = Temperatur oli masuk (°C)
- T_{ho} = Temperatur oli keluar (°C)

Beda temperatur rata-rata log (LMTD) Bada temperatur rata-rata log (*Log Mean Temperature Difference*) adalah beda temperatur pada satu ujung penukar kalor dikurangi beda temperatur pada ujung yang satu lagi dibagi dengan logaritma alamiah dari pada perbandingan kedua beda temperatur tersebut (Holman, 1986).

$$\Delta T \text{ LMTD} = \frac{(T_{hi} - T_{ci}) - (T_{ho} - T_{co})}{\ln \frac{(T_{hi} - T_{ci})}{(T_{ho} - T_{co})}} \quad (3)$$

Keterangan:

- LMTD = Beda temperatur rata-rata log (°C)
- T_{ci} = Temperatur air pendingin masuk (°C)
- T_{co} = Temperatur air pendingin keluar (°C)
- T_{hi} = Temperatur oli masuk (°C)
- T_{ho} = Temperatur oli keluar (°C)

Bilangan Reynolds berfungsi untuk menentukan jenis aliran dari APK, apakah aliran pada tabung atau pipa tersebut aliran laminar atau aliran turbulen (Holman, 1986).

$$Red = \frac{\rho u D}{\mu} \quad (4)$$

Keterangan:

Red = Bilangan Reynolds
 ρ = Kerapatan (Densitas)
 U = Kecepatan massa ($\text{kg/m}^2 \cdot \text{s}$)
 D = Diameter tabung/pipa (m)
 μ = Kekentalan dinamik ($\text{kg/m} \cdot \text{s}$)

Bilangan Nusselt digunakan untuk mengetahui koefisien perpindahan panas pada *shell and tube* (Holman, 1986). Untuk bilangan Nusselt pada aliran turbulen menggunakan persamaan konveksi paksa. dengan ketentuan 0,4 (untuk pemanasan), 0,3 (untuk pendinginan), dan $0,6 < Pr < 100$ maka persamaannya adalah sebagai berikut:

$$Nu = 0,023 \times Red^{0,8} \times Pr^n$$

(5)

Keterangan:

Nu = Bilangan Nusselt
 Red = Bilangan Reynolds
 Pr = Bilangan Prandalt

Koefisien perpindahan panas menyeluruh bisa didasarkan atas luas dalam dan luas luar tabung (Holman, 1986), maka persamaannya sebagai berikut:

$$U_i = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{A_i \ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right)}{2\pi k L} + \frac{A_i}{A_o} \frac{1}{h_o}}$$

(6)

Keterangan:

U = Koefisien perpindahan panas menyeluruh ($\frac{W}{\text{m}^2 \cdot \text{C}}$)
 Ao = Luas permukaan luar tabung (m^2)
 Ai = Luas permukaan dalam tabung (m^2)
 hi = Koefisien perpindahan panas konveksi di dalam ($\frac{W}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$)
 ho = Koefisien perpindahan panas konveksi di luar ($\frac{W}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$)
 ro = Jari-jari di luar tabung (m)
 k = Konduktivitas panas adalah karakteristik individu material dinding ($\frac{W}{\text{m} \cdot \text{K}}$)
 L = Luas Penampang (m^2)

Untuk menghitung jumlah panas yang masuk pada kondensor dengan menerapkan faktor koreksi terhadap LMTD (Holman, 1986). Maka menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Q = U.A.F.LMTD$$

(7)

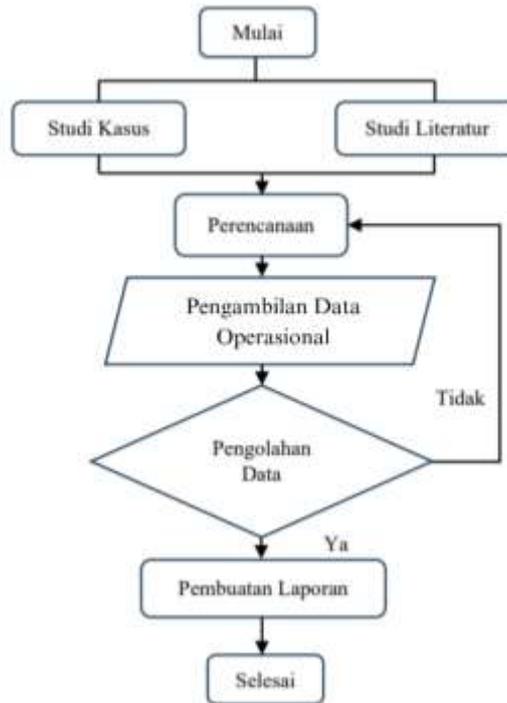
Efektivitas penukar kalor (*heat exchanger effectiveness*) menurut buku *Heat Transfer* karangan (Holman, 1986), didefinisikan sebagai berikut:

$$Ch = \frac{m_h C_h (Th_i - Tho)}{m_h C_h (Th_i - Tci)} \Rightarrow \epsilon = \frac{(Th_i - Tho)}{(Th_i - Tci)}$$

(8)

METODE PENELITIAN

Metode pengumpulan data yang dilakukan penulis untuk memperoleh data dan informasi yang dibutuhkan dalam penelitian ini berupa studi literatur, observasi, eksperimental, deskriptif, dan dokumentasi.



Gambar 1. Diagram Alir

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data yang digunakan adalah data aktual yang berasal dari komputer pada *control room* PLTG unit 7 Paya Pasir. Data yang diambil pada tanggal 11 Maret 2024.

Tabel 1. Data Aktual *Lubricating Oil* PLTG Unit 7 Paya Pasir

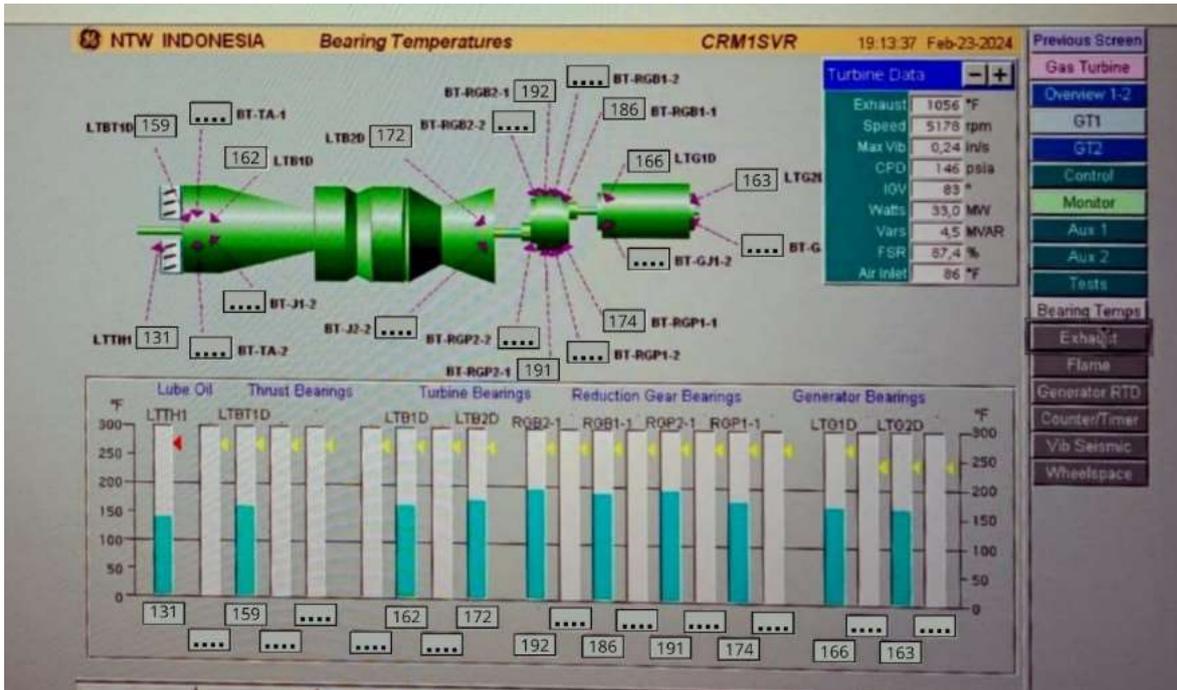
No.	Uraian	Nilai
1.	Diameter dalam pipa (D_i)	0,0238 m
2.	Diameter luar pipa (D_o)	0,025 m
3.	Diameter <i>shell</i> (D_s)	1,75 m
4.	Laju aliran oli (\dot{m}_h)	43,177 kg/s
5.	Laju aliran air pendingin (\dot{m}_c)	2378,5 kg/s
6.	Kecepatan air pendingin (u)	2,36 m/s
7.	Jumlah pipa (N_t)	6825
8.	Panjang pipa (L)	5,50 m
9.	Bahan pipa	Titanium
10.	<i>Pitch tube</i> (Pt)	0,0536 m
11.	<i>Baffle</i> (B)	0,525 m

Sumber: Dokumen PLTG Paya Pasir

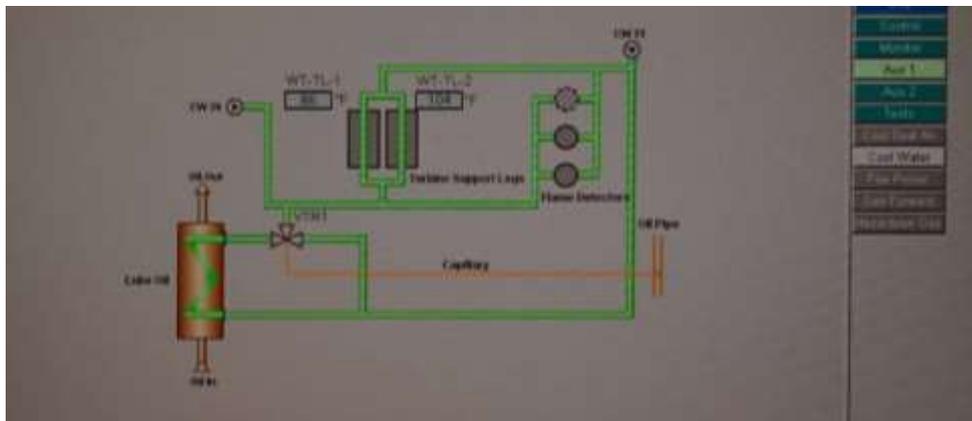
Tabel 2. Data Aktual Temperatur Shell and Tube PLTG Unit 7 Paya Pasir

No.	Uraian	Nilai
1.	Temperatur oli masuk <i>shell</i> (Th_i) / Turbine bearings	$(162\text{ }^\circ\text{F} + 172\text{ }^\circ\text{F}):2 = 167\text{ }^\circ\text{F} = 75\text{ }^\circ\text{C}$
2.	Temperatur oli keluar <i>shell</i> (Th_o) / Lube oil	$131\text{ }^\circ\text{F} = 55\text{ }^\circ\text{C}$
3.	Temperatur air pendingin masuk <i>tube</i> (Tc_i)	$86\text{ }^\circ\text{F} = 30\text{ }^\circ\text{C}$
4.	Temperatur air pendingin keluar <i>tube</i> (Tc_o)	$104\text{ }^\circ\text{F} = 40\text{ }^\circ\text{C}$

Sumber: Dokumen PLTG Paya Pasir



Gambar 2. Data Aktual Temperatur Oli di Shell and Tube pada Control Room PLTG Unit 7 Paya Pasir



Gambar 3. Data Aktual Temperatur Air Pendingin pada Control Room PLTG Unit 7 Paya Pasir

Menentukan Sifat-Sifat Fluida

Sifat air pendingin pada tube

$$T_c = \frac{T_{ci} + T_{co}}{2} = \frac{30 + 40}{2} = \frac{70}{2} = 35 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Berdasarkan A-9 *Properties of Saturated Water*. Untuk temperatur 35 °C data yang dapat diperoleh dari tabel sebagai berikut:

- $C_{p_c} = 4178 \text{ J/kg } ^\circ\text{C}$
- $\rho = 994,0 \text{ kg/m}^3$
- $\mu = 0,720 \times 10^{-3} \text{ kg/m.s}$
- $k = 0,623 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$
- $Pr = 4,83$

Sifat fluida oli pada shell

$$T_h = \frac{T_{hi} + T_{ho}}{2} = \frac{75 + 55}{2} = \frac{130}{2} = 65 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Berdasarkan Tabel A-9 *Properties of Saturated Water*. Untuk temperatur 65 °C data yang dapat diperoleh dari tabel sebagai berikut:

$$Cp_h = 1926 \text{ J/kg } ^\circ\text{C}$$

$$\rho = 0,1614 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu = 1,110 \times 10^{-3} \text{ kg/m.s}$$

$$k = 0,0216 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$$

$$Pr = 1,00$$

Menentukan Beda Temperatur Rata-Rata Log (LMTD)

$$\Delta T \text{ LMTD} = \frac{(Thi - Tci) - (Tho - Tco)}{\ln \frac{(Thi - Tci)}{(Tho - Tco)}}$$

$$\Delta T \text{ LMTD} = \frac{(75 - 40) - (55 - 30)}{\ln \frac{(75 - 40)}{(55 - 30)}}$$

$$\Delta T \text{ LMTD} = 8,5714 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Menentukan Jenis Aliran

Menentukan bilangan Reynolds pada *tube*

Mencari luas permukaan fluida (A_t)

$$A_t = \frac{\pi}{4} (D_i^2) N_t$$

$$A_t = \frac{3,14}{4} (0,0238^2) (6825)$$

$$A_t = 3,0347 \text{ m}^2$$

Mencari diameter ekivalen (D_e)

Diameter ekivalen pada sisi *tube* sama dengan diameter dalamnya, yaitu: $D_e = D_i = 0,0238 \text{ m}$

Mencari kecepatan massa fluida (u)

$$u = \frac{\dot{m}c}{A}$$

$$u = \frac{2378,5 \text{ kg/s}}{3,0347 \text{ m}^2}$$

$$u = 783,7677 \text{ kg/m}^2\text{s}$$

Berdasarkan perhitungan di atas, maka bilangan Reynolds pada sisi *tube*, sebagai berikut:

$$Red = \frac{\rho u D}{\mu}$$

$$Red = \frac{(994,0 \text{ kg/m}^3) (2378,5 \text{ kg/m}^2\text{s}) (0,0238 \text{ m})}{0,720 \times 10^{-3} \text{ kg/m.s}}$$

$$Red = 78.150.903,0555 \text{ kg/m}^3$$

Berdasarkan perhitungan di atas, nilai bilangan Reynolds pada sisi *tube* sebesar 78.150.903,0555 kg/m^3 artinya $Red > 4000$, maka jenis aliran fluida pada sisi *tube* adalah aliran turbulen.

Menentukan bilangan Reynolds di sisi *shell*

Mencari luas permukaan fluida

$$A_s = \frac{D_s \times C \times B}{Pt}$$

$$C = Pt - D_o$$

$$C = 0,0536 - 0,025$$

$$C = 0,0286 \text{ m}$$

Maka:

$$A_s = \frac{D_s \times C \times B}{Pt}$$

$$A_s = \frac{1,75 \times 0,0286 \times 0,525}{0,0536}$$

$$A_s = 0,4902 \text{ m}^2$$

Mencari diameter ekivalen (D_e)

$$D_e = 4 \frac{\frac{Pt^2\sqrt{3}}{2} - \frac{\pi Do^2}{8}}{\frac{\pi Do}{2}}$$

$$D_e = 4 \frac{\frac{(0,0536)^2\sqrt{3}}{2} - \frac{(3,14)(0,025)^2}{8}}{\frac{(3,14)(0,025)}{2}}$$

$$D_e = 0,2294 \text{ m}$$

Mencari kecepatan massa fluida (u)

$$u = \frac{mh}{A}$$

$$u = \frac{43,177 \text{ kg/s}}{0,4902 \text{ m}^2}$$

$$u = 88,0804 \text{ kg/m}^2\text{s}$$

Berdasarkan perhitungan di atas, maka bilangan Reynolds pada sisi *tube*, sebagai berikut:

$$Red = \frac{\rho u D}{\mu}$$

$$Red = \frac{(0,1614 \text{ kg/m}^3) (88,0804 \text{ kg/m}^2\text{s}) (0,2294 \text{ m})}{1,110 \times 10^{-3} \text{ kg/m.s}}$$

$$Red = 2.938,0098 \text{ kg/m}^3$$

Berdasarkan perhitungan di atas, nilai bilangan Reynolds pada sisi *shell* sebesar $2.938,0098 \text{ kg/m}^3$ artinya $2000 < Red < 4000$, maka jenis aliran fluida pada sisi *shell* adalah aliran transisi.

Menentukan Koefisien Perpindahan Panas Secara Menyeluruh

Koefisien perpindahan panas pada sisi *tube*

$$Nu_t = 0,023 \times Red^{0,8} \times Pr^n$$

$$Nu_t = (0,023) \times (78.150.903,0555)^{0,8} \times (4,83)^{0,4}$$

$$Nu_t = 89.049,5748$$

Maka:

$$h_i = \frac{Nu \times k}{D_i}$$

$$h_i = \frac{(89.049,5748) \times (0,623 \text{ W/m}^\circ\text{C})}{0,0238 \text{ m}}$$

$$h_i = 2.331.003,5759 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ }^\circ\text{C}}$$

Koefisien perpindahan panas pada sisi *shell*

$$Nu_s = 0,023 \times Red^{0,8} \times Pr^n$$

$$Nu_s = (0,023) \times (2.938,0098)^{0,8} \times (1,00)^{0,4}$$

$$Nu_s = 13,6826$$

Maka:

$$h_o = \frac{Nu \times k}{D_i}$$

$$h_o = \frac{(13,6826) \times (0,0216 \text{ W/m}^\circ\text{C})}{0,0238 \text{ m}}$$

$$h_o = 12,4178 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ }^\circ\text{C}}$$

Berdasarkan data konduktivitas panas Tabel A-3 *Properties of Solid Metals* diperoleh nilai k untuk titanium sebesar $21,9 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$. Maka koefisien perpindahan panas menyeluruh sebagai berikut:

$$U_i = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{A_i \ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right)}{2\pi k L} + \frac{A_i}{A_o} \frac{1}{h_o}}$$

$$U_i = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{r_i \ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right)}{2\pi k L} + \frac{r_i}{r_o} \frac{1}{h_o}}$$

$$U_i = \frac{1}{\frac{1}{2.331.003,5759} + \frac{0,0119 \ln\left(\frac{0,0125}{0,0119}\right)}{(2)(3,14)(21,9)(5,50)} + \frac{0,0119}{0,0125} \frac{1}{12,4178}}$$

$$U_i = 0,1661 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Menentukan Luas Perindahan Panas Menyeluruh

$$A_{\text{total}} = N_t \pi D_o L$$

$$A_{\text{total}} = (6825) (3,14) (0,025) (5,50)$$

$$A_{\text{total}} = 2946,6937 \text{ m}^2$$

Menentukan Jumlah Panas (Q)

$$Q = U A F LMTD$$

Menurut (Holman, 1986), nilai F (faktor koreksi) pada *shell and tube* adalah 1,0 karena bila terdapat perubahan fasa, seperti pendidihan. Kondisi P dan R menjadi nol dikarenakan fluida biasanya berada pada temperatur yang hakikatnya tetap.

$$Q = U A F LMTD$$

$$Q = (5,7703) (2946,6937) (1) (8,2625)$$

$$Q = 138,7894905 \text{ kW}$$

Menentukan Kapasitas Panas APK *Shell and Tube*

Untuk menentukan efektivitas APK, terlebih dahulu menentukan kapasitas panas yang kecil dengan menggunakan persamaan nilai fluida minimum sebagai berikut:

Fluida air pendingin (air demin)

$$C_c = \dot{m}_c C_{p_c}$$

$$C_c = (2378,5 \text{ kg/s}) (4178 \text{ J/kg } ^\circ\text{C})$$

$$C_c = 9.937.373 \text{ kW } ^\circ\text{C}$$

Fluida panas (oli)

$$C_h = \dot{m}_h C_{p_h}$$

$$C_h = (43,177 \text{ kg/s}) (1926 \text{ J/kg } ^\circ\text{C})$$

$$C_h = 83.158,902 \text{ kW } ^\circ\text{C}$$

Menentukan Efisiensi APK *Shell and Tube*

Dikarenakan APK *shell and tube* yang berada di PLTG unit 7 Paya Pasir memiliki jenis aliran berlawanan arah (*counter-current flow*) maka menggunakan rumus dengan persamaan sebagai berikut:

Karena $C_c > C_h$, maka:

$$\varepsilon = \frac{(T_{hi} - T_{ho})}{(T_{hi} - T_{ci})} \times 100\%$$

$$\varepsilon = \frac{(75 - 55)}{(75 - 40)} \times 100\%$$

$$\varepsilon = 57,14\%$$

Efisiensi APK *shell and tube* yang didapatkan melalui perhitungan sebesar 57,14%. Secara umum, nilai efisiensi standar untuk APK *shell and tube* berkisar antara 60% hingga 80%. Maka APK *shell and tube* terjadi penurunan efisiensi sebesar 2,86%. Namun, nilai ini bisa berubah seiring waktu karena faktor *fouling*.

SIMPULAN

Dari pengambilan data yang telah dianalisis, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut: APK *shell and tube* pada *lubricating oil* berfungsi untuk meyalurkan oli sehingga melumasi dan mendinginkan komponen-komponen (*bearing, gear box, clutch/kopling*) pada mesin PLTG. Perpindahan panas yang terjadi pada *lubricating oil* adalah perpindahan panas secara konveksi. Perbedaan temperatur rata-rata log (LMTD) APK *shell and tube* pada *lubricating oil* adalah 8,5714 °C. Koefisien perpindahan panas pada sisi *tube* (h_i) atau fluida air pendingin adalah 2.331.003,5759 W/m² °C dan koefisien perpindahan panas pada sisi *shell* (h_o) atau fluida oli adalah 12,4178 W/m² °C. Adapun koefisien perpindahan panas secara menyeluruh pada *bricating oil* adalah 0,1661 W/m² °C. Jumlah panas yang masuk pada APK *shell and tube* adalah 138,7894905 kW dan efektivitas (ϵ) APK *shell and tube* adalah 57,14%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti menyampaikan ucapan terima kasih kepada seluruh pihak-pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Andika, W., Mulyara, B., Effendi, Z., & Sembiring, A. S. (2023). Analisa Kehilangan Panas Secara Konduksi pada Saluran Steam (Pipa) dari Turbin ke Back Pressure Vessel (BPV) pada Pabrik Kelapa Sawit (PKS) Kapasitas 45 Ton/Jam. *Jurnal Agro Fabrica*, 5(2), 28-40.
- Arifin, A. C. (2016). *Simulasi 3D Analisa Aliran dan Perpindahan Panas Pada Concentric Tube Heat Exchanger dengan Variasi Jarak Fin Baffle* Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Holman, J. P. (1986). *Heat Transfer* (6 ed.). McGraw-Hill Book Co.
- Pandia, A. (2023). Upaya Perawatan Sistem Pendingin Untuk Mempertahankan Kinerja Mian Engine Di Mt. Permata Pioneer. *Sekolah Tinggi Ilmu Pelayaran*.
- Risti, R. D. N. (2016). *Pengaruh Perubahan Temperatur terhadap Luas Perpindahan Panas pada Heat Exchanger Tipe Shell and Tube (Effect of Temperature Changes to Heat Transfer of Heat Exchanger Shell and Tube Type)* UNDIP].
- Supu, I., Usman, B., Basri, S., & Sunarmi, S. (2017). Pengaruh Suhu Terhadap Perpindahan Panas pada Material yang Berbeda. *Dinamika*, 7(1), 62-73.
- Wahyono, W., & Rochani, I. (2019). Pembuatan Alat Uji Perpindahan Panas Secara Radiasi. *Eksergi: Jurnal Teknik Energi*, 15(2), 50-59.