

Teknik Mesin

Analisa Laju Perpindahan Kalor Pada Alat Penukar Panas Kondensor Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) di. PT XYZ

Yanto*¹ Erwin Pardede²

¹Program Studi Teknik Mekanika, Politeknik Teknologi Kimia Industri, Medan, Indonesia

²Program Studi Teknik Agribisnis Kelapa Sawit, Politeknik Teknologi Kimia Industri, Medan, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Diterima Redaksi: 30 Juli 2023

Revisi Akhir: 30 Juli 2023

Diterbitkan Online: 30 Juli 2023

KATA KUNCI

Heat Exchanger, Laju alir fluida, Laju perpindahan panas

Keywords:

Heat Exchanger, Fluid flow rate, Heat transfer rate

KORESPONDENSI

E-mail: yantobahar1362@gmail.com

A B S T R A K

Alat penukar panas (heat exchanger) adalah suatu alat yang digunakan untuk memindahkan panas antara dua buah fluida atau lebih yang memiliki perbedaan temperatur yaitu fluida bertemperatur tinggi ke fluida yang bertemperatur rendah. Perpindahan kalor tersebut baik secara langsung maupun tidak secara tidak langsung. Komponen-komponen yang terdapat pada penkar panas adalah shell, tube, baffle. Pertukaran laju perpindahan panas pada heat exchanger ialah aliran searah (co current) dan aliran berlawanan (*counter flow*). Pengaruh laju aliran fluida terhadap laju perpindahan panas bertujuan untuk mengetahui pengaruh laju aliran fluida dengan perpindahan panas yang akan diperoleh pada saat pendinginan alat penukar panas. Alat penukar panas yang digunakan adalah Heat Exchanger shell and tube. Berdasarkan hasil pengamatan dan pembahasan maka didapat nilai laju perpindahan panas dengan laju alir yang berbeda maka akan berpengaruh terhadap laju perpindahan panas yang didapat. dari perhitungan laju perpindahan panas menyeluruh dengan laju aliran fluida pendingin 587,1501 Kg/s sebesar 9707788,01 Kcal/s , 588,4101 Kg/s sebesar 9791147,36 Kcal/s dan Laju aliran 589,6701 Kg/s sebesar 10374809,06 Kcal/s. Dari grafik dilihat bahwa semakin besar laju aliran fluida pendingin maka semakin besar pula laju perpindahan panas yang terjadi.

A B S T R A C T

A heat exchanger is a device used to transfer heat between two or more fluids that have different temperatures, namely a fluid with a high temperature to a fluid with a low temperature. The heat transfer is either directly or indirectly. The components contained in the heat exchanger are shell, tube, baffle. The exchange rate of heat transfer in the heat exchanger is co-current and counter-flow. The effect of the fluid flow rate on the heat transfer rate aims to determine the effect of the fluid flow rate on the heat transfer that will be obtained when the heat exchanger cools. The heat exchanger used is a shell and tube heat exchanger. Based on the results of observations and discussion, it is obtained that the value of the heat transfer rate with a different flow rate will affect the heat transfer rate obtained. from the calculation of the overall heat transfer rate with a cooling fluid flow rate of 587.1501 Kg/s of 9707788.01 Kcal/s, 588.4101 Kg/s of 9791147.36 Kcal/s and a flow rate of 589.6701 Kg/s of 10374809, 06 Kcal/s. From the graph it can be seen that the greater the flow rate of the cooling fluid, the greater the rate of heat transfer that occurs.

PENDAHULUAN

Listrik merupakan salah satu kebutuhan manusia. Listrik digunakan masyarakat sebagai alat bantu pendukung dalam kehidupan manusia, baik didalam industri maupun didalam rumah tangga. Banyaknya konsumsi akan listrik untuk kebutuhan sehari-hari yang harus dipenuhi secara kontinu. Salah satu langkah yang diambil pemerintah yaitu dengan membangun pembangkit listrik tenaga uap (PLTU)[1].

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Biomassa adalah pembangkit yang mengandalkan energi kinetik dari uap untuk memutar generator dan menghasilkan energi listrik dan pembangunan. PLTU Biomassa ini dibangun dimaksudkan untuk memenuhi kebutuhan listrik sendiri dengan menggunakan bahan bakar biomassa seperti *fiber*, sekam padi, serbuk kayu, tungkul jagung, kayu sembarang, cangkang, batok kelapa, antiwit, kulit jengkol/pinang, batang sawit, kayu giling dan pelet serbuk kayu. Pada PT. Global Inovasi Prima mempunyai peralatan-peralatan pendukung beroperasinya turbin uap yang berputar dan berhubungan dengan generator. Diantara pendukungnya adalah kondensor[2].

Kondensor merupakan alat penukar kalor (*Heat Exchanger*) yang berfungsi mengkondensasikan uap bekas dari turbin tekanan rendah (*Low Pressure Turbine*) menjadi titi-titik air (air kondensat) dan air yang terkondensasi menjadi air ditampung pada *hotwell*. Selanjutnya air tersebut di sirkulasi kembali ke *boiler* untuk diproses kembali menjadi uap. Di dalam kondensor terdapat siklus yang saling berkaitan, yaitu siklus fluida panas dari uap keluaran turbin tekanan rendah dan siklus air pendingin yang diperoleh dari air sungai deli, yang mana keduanya saling bersilangan arah (*cross flow*). Uap bekas turbin tekanan rendah sebagai fluida panas yang berada diluar pipa kondensor akan melepaskan kalor ke air pendingin yang melewati pipa (*tube*) di dalam kondensor sebagai fluida dingin[3].

Kalor pada PLTU biomassa. Perpindahan kalor adalah ilmu yang mempelajari perpindahan energi karena perbedaan temperatur diantara benda atau material. Apabila dua benda yang berbeda temperatur dikontakkan, maka panas akan mengalir dari benda temperatur tinggi ke temperatur rendah[4].

Satu masalah yang terjadi di kondensor adalah terjadi pengotoran pada jalur *tube* air pendingin yang disebabkan oleh kotoran yang terbawa oleh air pendingin sehingga suplai air pendingin pada kondensor dan kebocoran pada kondensor yang berdampak pada ketidak stabilan performa kondensor. Maka hal ini akan mengakibatkan berkurangnya proses perpindahan panas. Sehingga hal yang dilakukan saat melakukan perawatan panas kondensor adalah membersihkan *tube* air pendingin pada kondensor tersebut agar tidak terjadi pengendapan yang dapat mengganggu laju aliran air pendingin kondensor. Kinerja kondensor dapat dilihat dari nilai efektivitas, laju perpindahan panas, dan tekanan vakum dalam kondensor[5].

Untuk dapat bekerja dengan optimal dalam proses kondensasi, maka diperlukan alat penukar panas yang dalam kondisi baik, supaya proses kondensasi berjalan dengan lancar dan dapat mengefisienkan pemakaian air untuk di umpankan ke *boiler*. Pada proses pendinginan uap yang berlangsung pada kondensasi harus di ketahui besarnya perpindahan panas yang terjadi di dalam kondensor[6].

TINJAUAN PUSTAKA

1. PLTU

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) adalah merupakan salah satu jenis pembangkit listrik tenaga thermal yang banyak digunakan, ini dikarenakan biaya bahan bakarnya yang lebih murah dan dapat menghasilkan daya yang besar. PLTU merupakan mesin konversi energi yang merubah energi kimia yang terdapat di dalam bahan bakar menjadi energi listrik. PLTU mengikuti sebuah proses siklus (proses keliling) yang disebut siklus Rankine. Siklus Rankine adalah siklus cair-uap, yang merupakan dasar dari sistem pembangkit tenaga uap[7].

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) menggunakan fluida kerja air uap yang bersirkulasi secara tertutup. Siklus tertutup artinya menggunakan fluida yang sama secara berulang-ulang. Urutan sirkulasinya secara singkat adalah sebagai berikut:

- Pertama air diisikan ke boiler hingga mengisi penuh seluruh luas permukaan pemindah panas. Didalam boiler air ini dipanaskan dengan gas panas hasil pembakaran bahan bakar dengan udara sehingga berubah menjadi uap.
- Kedua, uap hasil produksi boiler dengan tekanan dan temperatur tertentu diarahkan untuk memutar turbin sehingga menghasilkan daya mekanik berupa putaran.
- Ketiga, generator yang dikopel langsung dengan turbin berputar menghasilkan energi listrik sebagai hasil dari perputaran medan magnet dalam kumparan, sehingga ketika turbin berputar dihasilkan energi listrik dari terminal output generator.
- Keempat, uap bekas keluar turbin masuk ke kondensor untuk didinginkan dengan air pendingin agar berubah kembali menjadi air yang disebut air kondensat. Air kondensat hasil kondensasi uap kemudian digunakan lagi sebagai air pengisi boiler. Demikian siklus ini berlangsung terus menerus danberulang-ulang [8].

Peristiwa perubahan keadaan (kondisi) dari fluida kerja pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Uap (SPLTU) dapat digambarkan dengan siklus termodinamika yang disebut siklus ideal *Rankine*. Pada siklus ini ada panas laten dan panas *sensibel*. Panas laten adalah panas yang masuk dan keluar dari suatu benda saat berubah fasa. Sedangkan panas *sensibel*

adalah panas yang masuk atau keluar dari suatu benda yang tidak mengalami perubahan fasa, tetapi diiringi perubahan temperature [9].

Proses-proses yang terjadi pada siklus *Rankine* adalah ;

- a. proses 1-2 yaitu kompresi isentropik didalam pompa. Fluida kerja dipompakan dari tekanan rendah ke tekanan tinggi.
 - b. proses 2-3 yaitu fluida yang bertekanan tadi memasuki boiler dan kemudian dipanaskan dengan temperatur konstan menjadi uap kering saturasi.
 - c. proses 3-4 yaitu Uap kering saturasi mengembang dan memasuki turbin.
 - d. proses 4-1 yaitu Uap keluar dalam turbin dalam bentuk uap basah dan memasuki ke kondensor.
- Proses konversi energi pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) berlangsung melalui 3 tahapan, yaitu;
- 1) Pertama, energi kimia dalam bahan bakar diubah menjadi energi panas dalam bentuk uap bertekanan dan temperatur tinggi.
 - 2) Kedua, energi panas (uap) diubah menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran.
 - 3) Ketiga, energi mekanik diubah menjadi energilistrik.

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) terdiri dari beberapa system utama, yaitu:

- a) Boiler
- b) Turbin Uap
- c) Generator
- d) Kondensor
- e) Pompa

2. Boiler

Boiler digunakan untuk merubah air *feed water* menjadi uap (*steam*) yang kemudian mengalir dengan perbedaan massa jenis dimana air yang belum berubah fasa akan mengalir melalui pipa yang tersedia menuju bagian bawah boiler. Uap yang dihasilkan dalam boiler akan digunakan untuk memutar turbin. Uap yang digunakan memutar turbin sebelumnya akan dipanaskan lanjut dengan menggunakan superheater yang digunakan untuk merubah uap basah hasil pembakaran boiler menjadi uap kering agar turbin tidak mengalami korosi akibat kandungan-kandungan didalam air yang berbahaya bagi logam [10].

Berdasarkan fluida kerja yang mengalir didalam pipa, boiler dapat dimbedakan menjadi dua yaitu:

- a. Boiler pipa api (*fire tube boiler*)
Boiler pipa api adalah boiler yang mengalirkan gas panas hasil pembakaran kedalam pipa, sedangkan air yang diuapkan berada di sekelilinga pipa api.
- b. Boiler pipa air (*water tube boiler*)
Boiler pipa air adalah boiler yang mengalirkan air kedalam pipa. Air yang berada di dalam pipa dipanaskan oleh gas hasil pembakaran yang berada di sekeliling pipa.

Boiler adalah suatu kombinasi antara sistem-sistem peralatan yang dipakai untuk terjadinya perpindahan panas radiasi dan konveksi energi termal gas-gas hasil pembakaran ke fluida kerja yaitu air. Sifat perpindahan panas yang terjadi adalah pertama perpindahan sub dingin dimana panas yang diterima digunakan untuk menaikkan temperatur hingga mencapai temperatur cair jenuh. Kemudian mengalami proses kedua yaitu pendidihan dengan konveksi paksa, dimana terjadi proses boiling. Fluida kerja air secara bertahap menjadi *fluida* uap dan akhirnya menjadi uap jenuh. Pada tahap kedua ini tidak terjadi kenaikan temperatur. Panas yang diterima seluruhnya digunakan untuk terjadi perubahan fase. Apabila diperlukan, pemanasan dapat dilanjutkan dari uap jenuh menjadi uap super panas. Tipe-tipe boiler dapat dibedakan menurut tujuan dan konstruksinya, daerah yang mengalami pemanasan, sumber panasnya, sirkulasinya dan dinding penyangganya [9].

3. Turbin Uap

Turbin Uap digunakan untuk merubah energi uap dari hasil pembakaran di dalam boiler dan menjadi energi mekanik yang porosnya dikopelkan atau digabungkan dengan generator, sehingga apabila turbin berputar maka generator juga akan ikut berputar. Dalam turbin uap terdapat tiga jenis turbin. Di yakni *high preasure turbine*, *intermediate preasure turbine*, dan *low preasure turbine*. Untuk di *high preasure turbine*, uap yang digunakan merupakan uap dengan temperatur dan tekanan tinggi, sehingga uap kering (*superheated steam*) yang dihasilkan oleh *superheater* langsung digunakan untuk memutar *high preasure*, selanjutnya untuk *intermediate* dan *low preasure turbine* menggunakan uap yang dipanaskan kembali di dalam reheater dengan tekanan yang sedang dan rendah untuk memutar *low preasure* dan *intermediate preasure turbine*. Turbin uap dapat merupakan turbin impuls atau turbin reaksi. Turbin *impuls* adalah turbin dimana proses ekspansi (penurunan tekanan) dari *fluida* kerjanya hanya terjadi di dalam baris sudut-sudut tetapnya saja. Turbin *impuls* dapat merupakan impuls sederhana (bertingkat tunggal), turbin *impuls* kecepatan bertingkat (Turbin *curtis*) dan turbin impuls tekanan bertingkat (Turbin Ranteau) [9].

Sedangkan turbin reaksi adalah turbin dimana proses ekspansi dari fluida kerjanya terjadi didalam baris sudut tetap maupun sudut-sudut gerakannya. Didalam turbin reaksi proses ekspansi (penurunan tekanan) terjadi baik didalam baris-baris sudut tetap maupun sudut gerakannya. Turbin reaksi juga disebut turbin Parsons [10].

METODOLOGI

Spesifikasi Peralatan

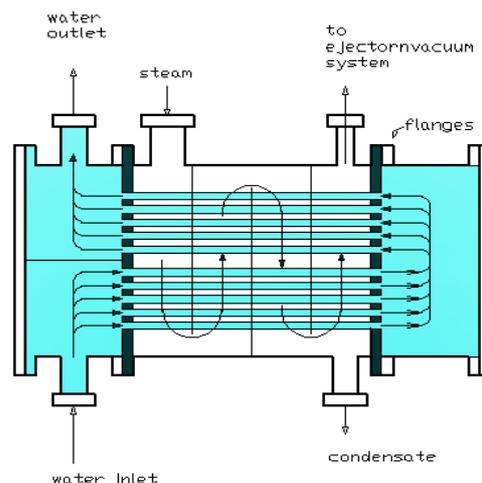
- Model : N-1250
- Type : Surficial
- Luas permukaan Pendingin : 1250 m²
- Tekanan Uap : 0,011 MPa
- Aliran Uap : 86 T/h
- Sirkulasi Aliran Air : 4000 T/h
- Temperatur Air Pendingin : 33°C
- Tekanan Air Pendingin : 0,6 MPa
- Bahan Tabung : HSn70-1A
- Diameter Shell : 2500 mm
- Diameter Luar Pipa : 20 mm
- Ketebalan pipa : 1 mm
- Jumlah Pipa : 5428
- Jumlah Pass : 2
- Material Pipa : Tembaga
- Berat Bersih Tanpa Air : 29 T

Tabel. 1 Data pengamatan Kondisi Operasi *shell and tube* Kondensor

No	Steam		Kondesat	Air Pendingin		
	Flow	Temperatur masuk (°C)	Temperatur Keluar (°C)	Flow (Kg/s)	Temperatur Masuk (°C)	Temperatur Keluar (°C)
1	19,0256	51	49,5	587,15	32,8	45
2	19,1517	52	50	588,41	33	46
3	19,1592	52,8	50,7	589,67	33,4	46,1

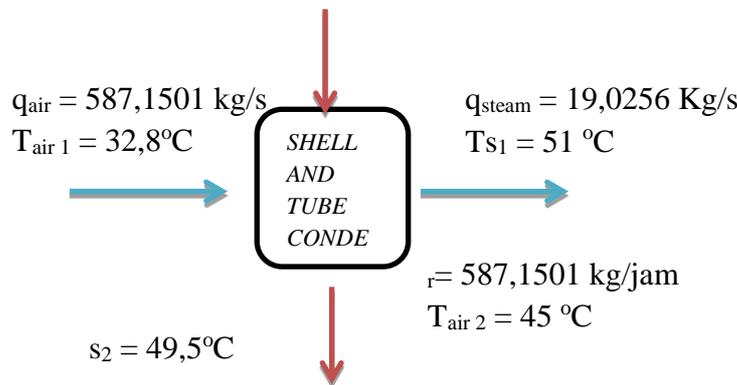
Mekanisme kerja alat penukar panas kondensor Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Biomassa 2x15 MW

Mekanisme kerja alat penukar panas kondensor prosesnya dilakukan dengan cara mengalirkan uap kedalam suatu ruangan yang berisi pipa-pipa (*tube*). Uap mengalir diluar pipa (*shell side*) sedangkan air sebagai pendingin mengalir didalam pipa-pipa. Prinsip kerja kondensor ini adalah merubah uap sisa keluaran *low pressure turbine* menjadi air kembali, proses perubahannya dilakukan dengan cara mengalirkan uap pada tube-tube inilah air pendingin dari cooling tower dialirkan. Sedangkan uap mengalir dari atas menuju ke bawah agar mengalami kondensasi atau pengembunan. Pada dasarnya, kondensor adalah alat yang uapnya terkondensasi dan panas laten penguapan yang dilepaskan oleh uap diserap oleh air pendingin. Mekanisme kerjanya seperti gambar 1 dibawah ini:



Gambar 1. mekanisme kerja daripada kondensor

Pengaruh laju aliran fluida terhadap perpindahan panas yang dihasilkan pada alat penukar panas kondensor



Gambar 2. Aliran Proses Shell and Tube Kondensor

1. Menghitung Laju Perpindahan panas Pada Kondensor

Untuk menghitung perpindahan panas pada kondensor dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$Q = m_{h.} C_{p_{h.}}(T_1 - T_2) \tag{1}$$

Menghitung nilai $C_{p_{h.}}$ didapat dari interpolasi dari Temperatur rata-rata fluida panas. Dimana untuk mencari Temperatur rata-rata fluida panas dirumuskan :

$$Th = \frac{Th_i + Th_o}{2} \tag{2}$$

2. Menghitung Laju perpindahan Panas menyeluruh

Untuk menentukan laju perpindahan panas menyeluruh dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$Q = U . A . \Delta T_{LMTD} \tag{3}$$

a. Menghitung Koefisien Perpindahan panas menyeluruh

Untuk menghitung koefisien perpindahan panas menyeluruh dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{1}{h_2} + R} \tag{4}$$

Dimana untuk memperoleh nilai Koefisien perpindahan panas Menyeluruh harus dicari nilai dari h_1 dan h_2 . Kemudian di ketahui jenis kedua aliran yang terjadi didalam kondensor tersebut dengan menghitung bilangan Reynolds yang dirumuskan sebagai berikut:

1. Menghitung bilangan reynold

$$Re = \frac{\rho.v.d}{\mu} \tag{5}$$

Untuk mengetahui nilai dari massa jenis fluida pendingin maka, dicari Temperatur rata-rata fluida pendingin

$$T_c = \frac{T_{c_i} + T_{c_o}}{2} \tag{6}$$

a. Menentukan luas penampang aliran shell

$$A = \frac{mh}{\rho.\mu} \tag{7}$$

b. Menentukan kecepatan fluida panas

$$V = \frac{mh}{A} \tag{8}$$

Maka bilangan reynold untuk fluida panas dapat di tentukan dengan rumus sebagai berikut:

$$Re = \frac{\rho.v.d_h}{\mu} \tag{9}$$

Menentukan bilangan reynold untuk fluida pendingin

a. Menentukan luas penampang permukaan aliran tube

$$A = \frac{mc}{\rho.\mu} \tag{10}$$

b. Menentukan kecepatan fluida

$$V = \frac{mc}{A} \tag{11}$$

Maka bilangan reynold untuk fluida dingin dapat ditentukan dengan rumus berikut:

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot d_i}{\mu} \tag{12}$$

Jadi, jenis kedua aliran yang terjadi didalam kondensor adalah aliran turbulen karena $Re > 2300$

2. Menghitung bilangan *Nusselt*

a. pada fluida panas, dimana $n = 0,3$ untuk pendinginan

$$Nu = 0,023 \times Re^{0,8} \times Pr^n \tag{13}$$

b. Pada fluida pendingin, dimana $n = 0,4$ untuk pemanasan

$$Nu = 0,023 \times Re^{0,8} \times Pr^n \tag{14}$$

Maka dapat dicari nilai dari h_1 dan h_2 dengan rumus sebagai berikut:

3. Perhitungan Koefisien perpindahan panas pada sisi shell

$$h_1 = \frac{Nu \times k}{dh} \tag{15}$$

4. Perhitungan koefisien perpindahan panas pada sisi tube

$$h_2 = \frac{Nu \times k}{di} \tag{16}$$

5. Menentukan nilai Tahana termal (R)

$$R = \frac{1}{h_1 \cdot 2 \cdot \pi \cdot r_1} \tag{17}$$

Dimana nilai h_1 dan h_2 telah diketahui maka koefisien perpindahan panas menyeluruh dapat ditentukan dengan cara sebagai berikut:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{1}{h_2} + R} \tag{18}$$

Menentukan luas penampang perpindahan panas keseluruhan dimana jumlah pipa (N_t) sebanyak 5428 buah maka dapat dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$A = N_t \cdot \pi \left(\frac{d_1 + d_2}{2} \right) \cdot L \tag{19}$$

Menghitung nilai *log mean temperatur difference* (LMTD)

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{(T_{hi} - T_{co}) - (T_{ho} - T_{ci})}{\ln \frac{(T_{hi} - T_{co})}{(T_{ho} - T_{ci})}} \tag{20}$$

Maka laju perpindahan panas menyeluruh dapat ditentukan dengan rumus sebagai berikut :

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T_{LMTD} \tag{21}$$

3. Menghitung kapasitas kalor

$$C_c = m_c \times C_{p_c} \tag{22}$$

$$C_h = m_h \times C_{p_h} \tag{23}$$

4. Menghitung laju perpindahan panas maksimum

$$Q_{maks} = C_{min} (T_1 - T_2) \tag{24}$$

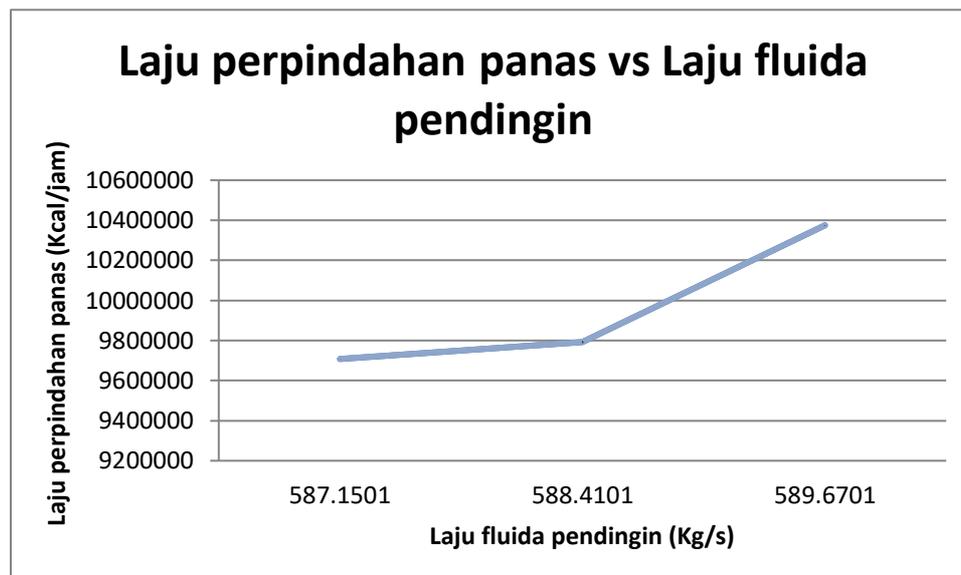
HASIL DAN PEMBAHASAN

Adapun hasil penelitian dibuat dalam satu tabulasi data dan grafik laju perpindahan panas dan laju fluida pendingin, dapat di lihat sebagai berikut :

Tabel 2. Tabulasi Data

No	Steam		Kondensat	Air Pendingin			Laju perindahan panas menyeluruh (Kcal/Jam)
	Flow (Kg/s)	Temperatur masuk (°C)	Temperatur Keluar (°C)	Flow (Kg/s)	Temp. in (°C)	Temp. out (°C)	
1	19,0256	51,0	49,5	587,15	32,8	45,0	9707788,01
2	19,1517	52,0	50,0	588,41	33,0	46,0	9791147,36
3	19,1592	52,8	50,7	589,67	33,4	46,1	10374809,06

Grafik Laju perpindahan panas maksimal vs Laju fluida pendingin



Gambar 3. Grafik laju perpindahan panas VS laju fluida pendingin

Dari hasil pembahasan dengan 3 variasi data maka diperoleh hasil perhitungan dengan menggambarkan dalam bentuk grafik perbandingan laju perpindahan panas vs laju fluida pendingin, sehingga dapat dilihat pada grafik dimana semakin cepat laju fluida pendingin maka laju perpindahan panas yang terjadi semakin meningkat dengan signifikan. Hal ini selaras dengan hasil penelitian dari berbagai sumber dan jurnal yang didapat dimana hasilnya semakin besar nilai laju fluida pendingin maka akan semakin besar juga nilai perpindahan panasnya.

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil perhitungan dari penelitian di atas maka mekanisme kerja alat penukar panas kondensor adalah merubah uap sisa keluaran *low pressure turbine* menjadi air kembali, proses perubahannya dilakukan dengan cara mengalirkan uap yang berada di *shell* dan air pendingin berada di *tube*. Dari pembahasan laju perpindahan panas bahwa dengan laju alir yang berbeda maka akan berpengaruh terhadap laju perpindahan panas yang didapat dari perhitungan laju perpindahan panas menyeluruh dengan laju aliran fluida pendingin 587,1501 Kg/s sebesar 9707788,01 Kcal/s, 588,4101 Kg/s sebesar 9791147,36 Kcal/s dan laju aliran 589,6701 Kg/s sebesar 10374809,06 Kcal/s. Dari grafik dilihat bahwa semakin besar laju aliran fluida pendingin maka semakin besar pula laju perpindahan panas yang terjadi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Haris, G. Supriyanto, and H. Hermanto, "Pengaruh Tekanan Press dan Umur Screw terhadap Kehilangan Minyak Kelapa Sawit (Oil Losses) di Stasiun Press," *Agroforetech*, pp. 654–662, 2023.
- [2] I. Fasi, H. Darmadi, and B. Syam, "Analisa Respon Mekanik Speed Bump Paduan Bahan Concrete Foam dan Polymeric Foam Diperkuat Serat Tandan Kelapa Sawit (TKKS) yang Dikenai Beban Impact Jatuh Bebas," *Talenta Conference Series: Energy and Engineering (EE)*, vol. 1, no. 1, pp. 117–122, Oct. 2018, doi: 10.32734/ee.v1i1.120.
- [3] R. Rinaldi, S. Pranoto, and R. Afriza, "Studi Eksperimen Karakteristik Mekanik Material Screw Press Kapasitas 10-14 Ton/Jam Di Lingkungan Pabrik Kelapa Sawit," *SURYA TEKNIKA*, vol. 1, no. 4, pp. 1–8, 2016.
- [4] P. Rizky Zakaria, "PERBAIKAN MESIN DIGESTER DAN PRESS UNTUK MENURUNKAN OIL LOSSES DI STASIUN PRESS DENGAN METODE PDCA (STUDI KASUS DI PT. XYZ)," *Jurnal PASTI*, vol. 8, no. 2, pp. 287–299, 2020.
- [5] Rafael, "PENGENDALIAN PROSES KEHILANGAN MINYAK PADA AIR KONDENSAT DAN SLUDGE SEPARATOR DENGAN METODE STATISTICAL PROCESS CONTROL (SPC) DAN CONTROL CHART INDIVIDUAL-MOVING RANGE (I-MR) DI PABRIK KELAPA SAWIT," 2022.
- [6] I. T. Hasballah and D. Prog, "Pengaruh Tekanan Screw Press Pada Proses Pengepresan Daging Buah Menjadi Crude Palm Oil," 2018.
- [7] R. Santoso, H. Lahay, S. Junus, Y. Lapai, and P. Koresponden, "Optimalisasi Perawatan Mesin Press Dengan Metode Failure Mode Effect Analysis (FMEA)," *Jambura Industrial Review*, vol. 1, no. 1, p. 2021, 2021, doi: 10.XXXXX/jirev.vXiX.XX-XX.
- [8] H. Darmadi, G. Gultom, D. Kurnia, and I. Syabil, "PENGARUH GESEKAN MATERIAL RAW MIX PENYEBAB KEAUSAN TERHADAP VERTICAL MILL PADA TYRE VERTICAL MILL," *Mekanova*, vol. 9, no. 1, pp. 118–124, 2023.
- [9] B. Bukhari, H. Darmadi, M. Iqbal Harapan Muslim Siregar, A. Noer Tambunan, P. Evencus Hutajulu, and D. Kurnia, "Pengaruh Kuat Arus Pengelasan ...," 2023. [Online]. Available: <http://vomtek.ppj.unp.ac.id>.

- [10] H. Darmadi, M. Mutaqqin, K. Azhari Tambunan, and R. A. Barus, “KEKUATAN DAN DAYA TAHAN PEGAS TERHADAP GETARAN BANDUL PADA VIBRATING SCREEN DI STASIUN PEMURNIAN PKS PT. X,” *Jurnal Mekanova*, vol. 8, no. 1, pp. 73–84, 2022.