

## REDESIGN PLATE HEAT EXCHANGER PADA CLOSED COOLING WATER SYSTEM PLTGU KAPASITAS 740 MW

**Ikam Muhammad, Sulis Yulianto**

Jurusan Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Jakarta, Jakarta, Jl. Cempaka Putih Tengah 27, 10510  
ikam.muhammad@gmail.com, Sulis.yulianto@ftumj.ac.id

### Abstrak

*Closed cooling water system* adalah sistem pendingin utama siklus tertutup dengan menggunakan media air pendingin yang sama secara berulang dalam sirkulasi tertutup. *Closed cooling water system* pada PLTGU menggunakan *plate heat exchanger* yang di sebut sebagai *closed cooling water heat exchanger*. *Closed cooling water heat exchanger* menggunakan dua fluida, pertama adalah air murni sebagai fluida panas dan yang kedua adalah air laut sebagai fluida dingin. *Fouling* yang tinggi dapat menyebabkan penurunan laju perpindahan panas pada *closed cooling water heat exchanger* dan bisa berdampak serius pada kondisi operasi PLTGU. Perpindahan panas dan faktor gesekan pada *plate heat exchanger* bergantung pada kemiringan sudut *chevron* dan relatif terhadap arah aliran, dan disisi lain kinerja *plate heat exchanger* juga akan tergantung pada faktor pembesaran permukaan dan jarak antar *plate*, maka dalam penelitian ini dilakukan perubahan pengaturan sudut *chevron*  $\beta = 30^\circ/30^\circ$ ,  $\beta = 60^\circ/60^\circ$  dan campuran  $\beta = 30^\circ/60^\circ$  pada *plate heat exchanger* untuk mendapatkan perpindahan panas yang optimal dan dapat menentukan jadwal pembersihan *plate heat exchanger* yang optimal. Pada sudut *chevron* campuran  $\beta = 30^\circ/60^\circ$  didapat perpindahan panas yang optimal dengan laju faktor pengotoran yang lambat.

**Kata kunci:** *Closed Cooling, Heat Exchanger, Fouling*

### Abstract

Closed cooling water system is a closed cycle main cooling system by using the same cooling water media repeatedly in closed circulation. Closed cooling water system in PLTGU uses plate heat exchanger which is referred to as closed cooling water heat exchanger. Closed cooling water heat exchanger uses two fluids, first is pure water as a hot fluid and the second is sea water as a cold fluid. High fouling can cause a decrease in the heat transfer rate in closed cooling water heat exchanger and can have a serious impact on the operating conditions of the PLTGU. Heat transfer and friction factors on plate heat exchangers depend on the slope of the chevron angle and relative to the direction of flow, and on the other hand the performance of the plate heat exchanger will also depend on the surface enlargement factor and the distance between the plates.  $30^\circ / 30^\circ$ ,  $\beta = 60^\circ / 60^\circ$  and a mixture of  $\beta = 30^\circ / 60^\circ$  on the plate heat exchanger to get optimal heat transfer and can determine the optimal plate heat exchanger cleaning schedule. At a chevron angle of mixture  $\beta = 30^\circ / 60^\circ$  an optimal heat transfer is obtained with a slow rate of fouling factor.

**Keywords :** Closed Cooling, Heat Exchanger, Fouling

### PENDAHULUAN

*Closed cooling water system* adalah sistem pendingin utama siklus tertutup dengan menggunakan media air pendingin yang sama secara berulang dalam sirkulasi tertutup. *Closed*

*cooling water system* pada PLTGU Blok 3 priok menggunakan *plate heat exchanger* yang di sebut sebagai *closed cooling water heat exchanger*.

*Closed cooling water heat exchanger* menggunakan 2 (dua) fluida, yang pertama adalah air murni sebagai fluida panas dan yang kedua adalah air laut sebagai fluida dingin. Banyak hal yang mempengaruhi laju perpindahan panas *closed cooling water heat exchanger*, salah satu diantaranya adalah faktor *fouling*. *Fouling* yang

tinggi dapat menyebabkan penurunan laju perpindahan panas pada *closed cooling water heat exchanger*.

*Fouling* pada *closed cooling water heat exchanger* terjadi karena kondisi fluida yang digunakan sebagai media pendingin tidak begitu bersih meskipun sudah melewati beberapa *strainer* (saringan). Terdapat 2 (dua) metode pembersihan *fouling* pada *closed cooling water heat exchanger*, pertama dengan melakukan *manual cleaning* dan yang kedua adalah dengan melakukan *chemical cleaning*. Perpindahan panas pada *plate heat exchanger* bergantung pada kemiringan sudut *chevron* dan relatif terhadap arah aliran dan disisi lain kinerja dari *plate heat exchanger* juga akan bergantung pada faktor pembesaran permukaan dan jarak antar *plate*, maka dalam penelitian ini dilakukan perubahan besaran sudut *chevron*  $\beta = 30^\circ / 30^\circ, \beta = 60^\circ / 60^\circ$ ) dan campuran  $\beta = 30^\circ / 60^\circ$  pada *plate heat exchanger* untuk mendapatkan perpindahan panas yang optimal dan dapat menentukan jadwal pembersihan *plate heat exchanger* yang optimal.

Dari latar belakang yang telah dipaparkan di atas, penulis memberikan identifikasi masalah yang akan dijadikan bahan penelitian sebagai berikut :

1. Terjadi penurunan laju perpindahan panas pada *closed cooling water heat exchanger*.
2. *Fouling* yang tinggi pada *closed cooling water heat exchanger*.
3. Besaran sudut *chevron* berpengaruh pada perpindahan panas

Berdasarkan identifikasi masalah yang sudah dipaparkan diatas, maka dapat dirumuskan permasalahan yang menjadi pokok dalam kegiatan penelitian ini, yaitu:

1. Apakah terjadi penurunan laju perpindahan panas pada *closed cooling water heat exchanger* ketika sedang beroperasi ?
2. Seberapa besar pengaruh *fouling* terhadap perpindahan panas pada *closed cooling water heat exchanger*?

3. Seberapa besar pengaruh sudut *chevron* terhadap perpindahan panas pada *plate heat exchanger*?

Tujuan yang ingin dicapai dalam penulisan laporan ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui seberapa besar penurunan laju perpindahan panas pada *closed cooling water heat exchanger*.
2. Mengetahui seberapa besar pengaruh *fouling* terhadap laju perpindahan panas pada *closed cooling water heat exchanger*
3. Mencari besaran sudut *chevron* pada *plate heat exchanger* yang sesuai untuk pengoperasian *closed cooling water heat exchanger*

### TINJAUAN PUSTAKA

*Heat exchanger* adalah alat yang digunakan untuk mentransfer energi panas (entalpi) antara dua atau lebih cairan, antara permukaan padat dan cairan, atau antara partikulat padat dan cairan pada temperatur yang berbeda dan dalam kontak *thermal*. Contoh umum *heat exchanger* adalah *exchanger shell and tube*, *radiator mobil*, *condensor*, *evaporator*, *preheater* udara, dan menara pendingin (Shah & Sekulic, 2003).

*Plate heat exchanger* dibuat dari *plate* tipis yang membentuk saluran aliran. Aliran fluida dipisahkan oleh *plate* datar yang halus atau di antaranya sirip bergelombang. *Plate heat exchanger* digunakan untuk mentransfer panas untuk setiap kombinasi aliran gas, cair, dan dua fase. *Heat exchanger* ini selanjutnya dapat diklasifikasikan sebagai *gasketed plate heat exchanger*, *spiral plate heat exchanger*, dan *lamella heat exchanger* (Kakac, Liu, & Pramuanjaroenkij, 2012).

*Gasketed plate heat exchanger* seperti ditunjukkan pada gambar 2.1, *gasketed plate heat exchanger* terdiri dari serangkaian *plate* tipis dengan permukaan bergelombang yang memisahkan cairan. *Plate* disusun dengan bagian-bagian sudut yang diatur sedemikian rupa sehingga dua media di antara panas yang akan ditransfer mengalir melalui ruang-ruang antar *plate* secara bergantian. *Gasket* berfungsi untuk mencegah pencampuran antara dua fluida dan mencegah fluida bocor ke luar (atmosfer), serta mengarahkan aliran fluida di dalam *plate heat exchanger* (Kakac et al., 2012).

*Heat exchanger* biasanya beroperasi untuk jangka waktu yang lama tanpa perubahan

dalam kondisi operasi mereka. Oleh karena itu, mereka dapat dimodelkan sebagai perangkat aliran stabil. Dengan demikian, laju aliran massa setiap fluida tetap konstan, dan sifat-sifat fluida seperti suhu dan kecepatan pada setiap saluran masuk atau saluran keluar tetap sama. Juga, aliran fluida mengalami sedikit atau tidak ada perubahan dalam kecepatan dan elevasinya, dan dengan demikian perubahan energi kinetik dan potensial dapat diabaikan. Panas spesifik dari suatu cairan, secara umum, berubah dengan suhu. Namun, dalam kisaran suhu tertentu, dapat diperlakukan sebagai konstanta pada beberapa nilai rata-rata dengan sedikit kehilangan dalam akurasi. Konduksi panas aksial sepanjang tabung biasanya tidak signifikan dan dapat dianggap dapat diabaikan. Akhirnya, permukaan luar *heat exchanger* diasumsikan terisolasi dengan sempurna, sehingga tidak ada panas yang hilang ke medium sekitarnya, dan setiap perpindahan panas terjadi antara dua cairan saja (Cengel & Ghajar, 2011).

Berdasarkan asumsi-asumsi ini, hukum pertama termodinamika mensyaratkan bahwa laju perpindahan panas dari fluida panas sama dengan tingkat perpindahan panas ke panas dingin. Itu adalah :

$$Q = \dot{m}_c c_{pc} (T_{c2} - T_{c1}) \quad (1)$$

$$Q = \dot{m}_h c_{ph} (T_{h1} - T_{h2}) \quad (2)$$

Laju perpindahan panas dalam *heat exchanger* juga dapat dinyatakan sebagai

$$Q = UA\Delta T_m \quad (3)$$

Di sini luas permukaan (A) dapat ditentukan secara tepat menggunakan dimensi *heat exchanger*. Namun, koefisien perpindahan panas keseluruhan (U) dan perbedaan suhu ( $\Delta T$ ) antara cairan panas dan dingin secara umum dapat bervariasi sepanjang *heat exchanger* (Cengel & Ghajar, 2011).

Nilai rata-rata perpindahan panas menyeluruh dapat ditentukan dengan menggunakan koefisien konveksi rata-rata untuk setiap fluida. Bentuk yang sesuai dari perbedaan suhu rata-rata antara dua cairan bersifat logaritmik. Perlu dicatat bahwa perbedaan suhu rata-rata ( $\Delta T$ ) tergantung pada pengaturan aliran *heat exchanger* dan jenis konstruksi dari *heat exchanger* (Cengel & Ghajar, 2011).

Untuk pengaturan *counter flow* didapatkan perbedaan suhu rata-rata yang sebenarnya,  $\Delta T_m$

$$\Delta T_{lm,cf} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}} \quad (4)$$

Desain *gasketed plate heat exchanger* sangat khusus mengingat karakteristik berbagai desain tersedia untuk tipe *plate* dan pengaturan yang mungkin sesuai dengan berbagai tugas. Tidak seperti *tubular heat exchanger* yang data dan metode desainnya mudah tersedia, desain *gasketed plate heat exchanger* memiliki karakteristik tersendiri (Kakac et al., 2012). Rasio dari luas efektif aktual yang ditentukan oleh pabrikan,  $A_1$ , ke area pelat yang diproyeksikan  $A_{1p}$ :

$$\phi = \frac{A_1}{A_{1p}} \quad (5)$$

Faktor pembesaran bervariasi antara 1,15 dan 1,25. Nilai 1,17 dapat diasumsikan sebagai rata-rata tipikal.

di mana  $A_{1p}$  dapat diketahui

$$A_{1p} = L_p \cdot L_w \quad (6)$$

$L_p$  dan  $L_w$  didapat dari  $L_v$ ,  $L_h$  dan  $D_p$  sebagai

$$L_p = L_v - D_p \quad (7)$$

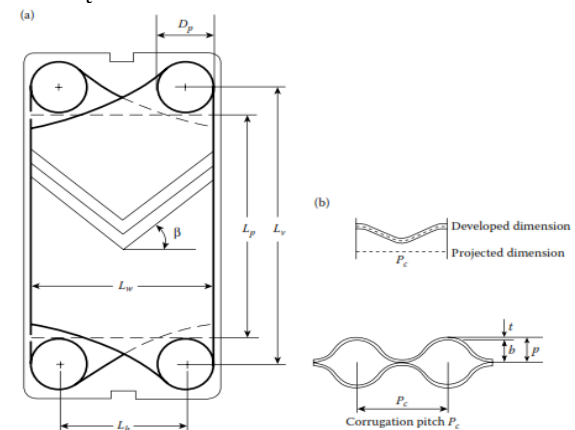
$$L_w = L_h + D_p \quad (8)$$

jarak saluran rata-rata,  $b$ , dapat diketahui dengan

$$b = p - t \quad (9)$$

Jika tidak diketahui  $p$  dapat ditentukan dari  $L_c$ , yang biasanya sudah ditentukan pada gambar *design heat heat exchanger*. Kemudian,  $p$  ditentukan sebagai

$$p = \frac{L_c}{N_t} \quad (10)$$



Gambar 1 (a) *Main dimensions of a chevron plate*; (b) *developed and projected dimensions of a chevron plate cross-section normal to the direction of troughs*

Geometri aliran saluran dalam *plate chevron* cukup kompleks, itulah sebabnya mengapa sebagian besar korelasi umumnya disajikan untuk nilai tetap  $\beta$  dalam pengaturan *plate* simetris ( $\beta = 30^\circ/30^\circ$  atau  $\beta = 60^\circ/$

60°) dan campuran  $\beta = 30^\circ/60^\circ$ ) pengaturan plate.

Dari basis data eksperimen, Muley et al. dan Mulley dan Manglik mengusulkan korelasi berikut untuk berbagai nilai  $\beta$  :

For  $Re \leq 400, 30^\circ \leq \beta \leq 60^\circ$

$$Nu = \frac{2hb}{k} = 0.44 \left(\frac{\beta}{30}\right)^{0.38} Re^{0.5} Pr^{\frac{1}{3}} \left(\frac{\mu_b}{\mu_w}\right)^{0.14} \quad (11)$$

$$f = \left(\frac{\beta}{30}\right)^{0.83} \left[ \left(\frac{30.2}{Re}\right)^5 + \left(\frac{6.28}{Re^{0.5}}\right)^5 \right]^{0.2} \quad (12)$$

For  $Re \geq 1000, 30^\circ \leq \beta \leq 60^\circ, 1 \leq \phi \leq 1.5$

$$Nu = [0.2668 - 0.006967\beta + 7.244 \times 10^{-5}\beta^2] \times [20.78 - 50.94\phi + 41.1\phi^2 - 10.51\phi^3] \times$$

$$Re^{[0.728+0.0543 \sin\{\frac{\pi\beta}{45}+3.7\}]} Pr^{\frac{1}{3}} \left(\frac{\mu_b}{\mu_w}\right)^{0.14} \quad (13)$$

$$f = [2.917 - 0.1277\beta + 2.016 \times 10^{-3}\beta^2] \times [5.474 - 19.02\phi + 18.93\phi^2 - 5.341\phi^3] \times Re^{-[0.2+0.0577 \sin\{\frac{\pi\beta}{45}+2.1\}]} \quad (14)$$

Koefisien perpindahan panas dan bilangan Reynolds didasarkan pada *equivalent diameter*  $De (= 2b)$ . Bergantung pada  $\beta$  dan bilangan Reynolds, *plate chevron* menghasilkan angka Nusselt lima kali lebih tinggi dibandingkan dengan saluran plate datar. Penurunan tekanan yang sesuai, bagaimanapun, jauh lebih tinggi: tergantung pada bilangan Reynolds, dari 1,3 hingga 44 kali lebih tinggi faktor gesekan dibandingkan dengan saluran plate datar. Bilangan Reynolds berdasarkan *channel mass velocity* dan *channel hydraulic diameter* didefinisikan sebagai

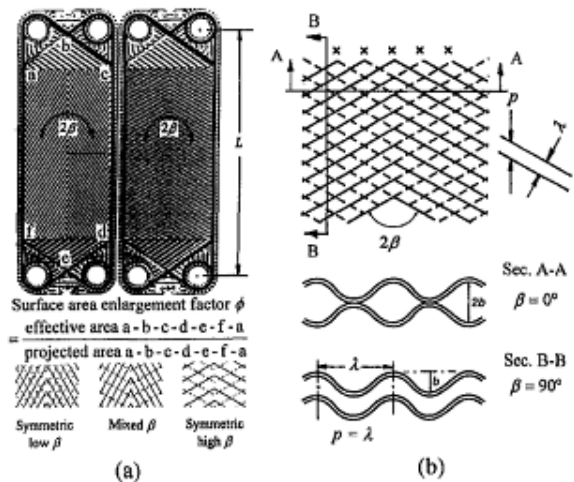
$$Re = \frac{G_c D_h}{\mu} \quad (15)$$

*Channel mass velocity* didefinisikan sebagai

$$G_c = \frac{\dot{m}}{N_{cp} b L_w} \quad (16)$$

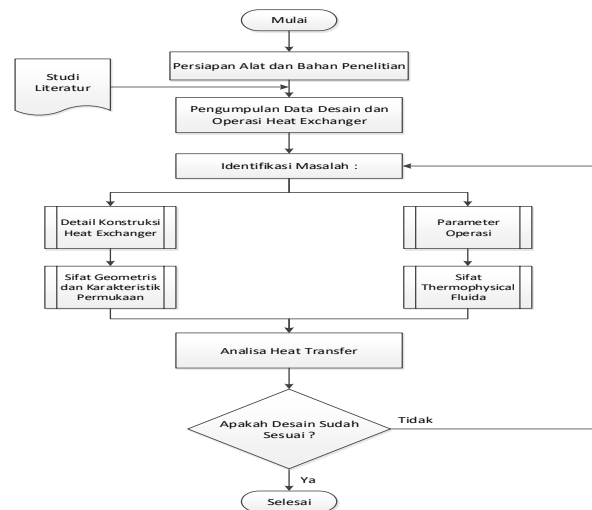
Di mana  $N_{cp}$  dapat diperoleh dari

$$N_{cp} = N_t - \frac{1}{2N_p} \quad (17)$$



Gambar 2 Chevron plates; (a) different chevron plates and their stack arrangements, and (b) geometrical features of plate corrugations.

## METODE PENELITIAN

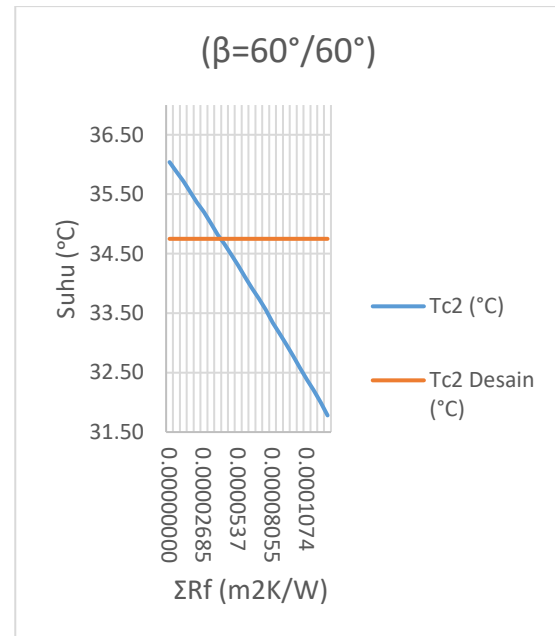


Gambar 3 Sistematika Penelitian

Sistematika penelitian merupakan skema dari tahap penelitian yang disusun secara sistematis. Tahap dari sistematika penelitian ini meliputi :

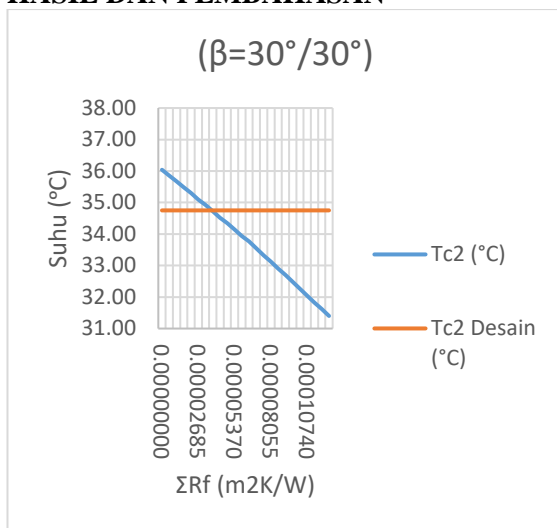
- a. Persiapan alat dan bahan  
Mempersiapkan alat dan bahan yang diperlukan untuk melakukan penelitian
- Studi literatur  
Mencari literatur yang mendukung penelitian ini berupa jurnal ilmiah yang berasal dari penelitian sebelumnya dimana memiliki keterkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan dan buku-buku yang dapat menjadi referensi dalam melakukan penelitian ini.

- c. Pengumpulan data  
Pengumpulan data dilakukan selama 24 Minggu. Data-data yang diperlukan untuk melakukan proses perhitungan. spesifikasi desain dapat berisi semua informasi terperinci yang diperlukan tentang laju aliran fluida, tekanan operasi, batasan penurunan tekanan untuk kedua aliran, suhu fluida, ukuran, panjang, dan spesifikasi lainnya dari *heat exchanger*.
- d. Identifikasi masalah  
Identifikasi masalah penurunan laju perpindahan panas pada *heat exchanger* dan seberapa besar fouling pada *heat exchanger*.
- e. Analisa *heat transfer*  
Perhitungan *heat transfer* dilakukan sesuai dengan data yang diperoleh dan menggunakan formula yang didapat dari literatur-literatur

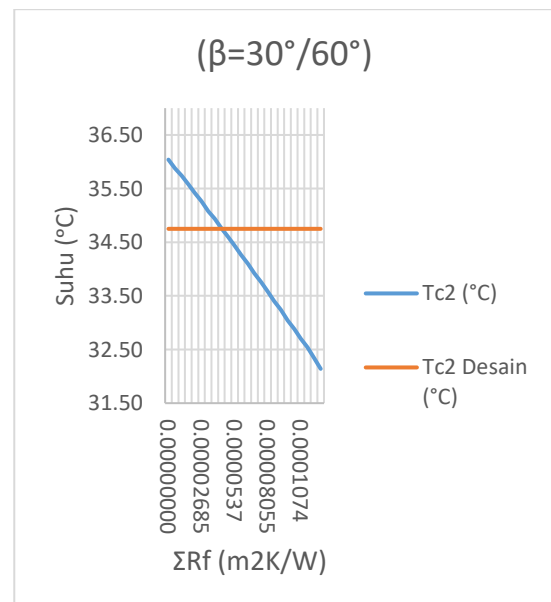


Gambar 5 Analisa *performance* suhu fluida dingin yang keluar dari *plate heat exchanger*  $\beta = 60^\circ/60^\circ$

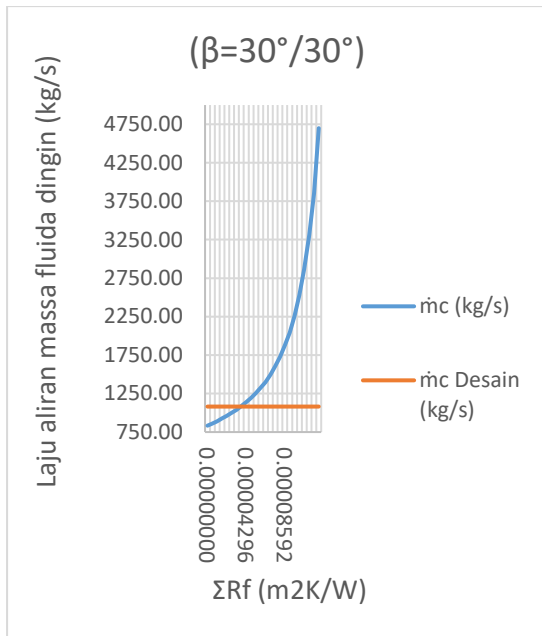
**HASIL DAN PEMBAHASAN**



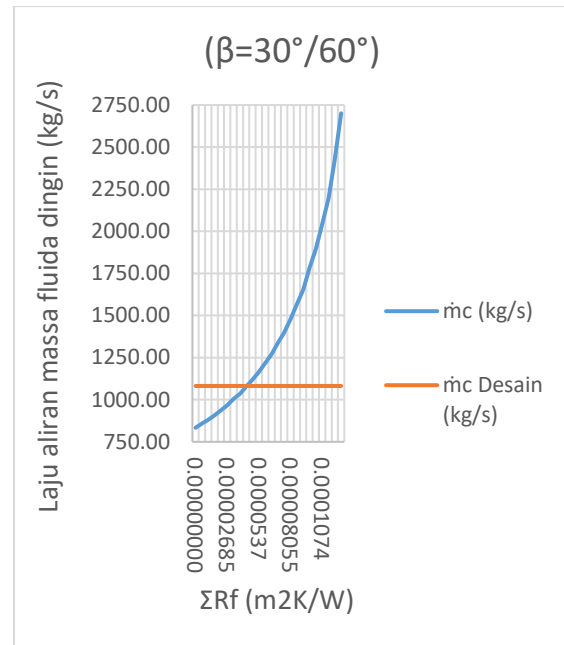
Gambar 4 Analisa *performance* suhu fluida dingin yang keluar dari *plate heat exchanger*  $\beta = 30^\circ/30^\circ$



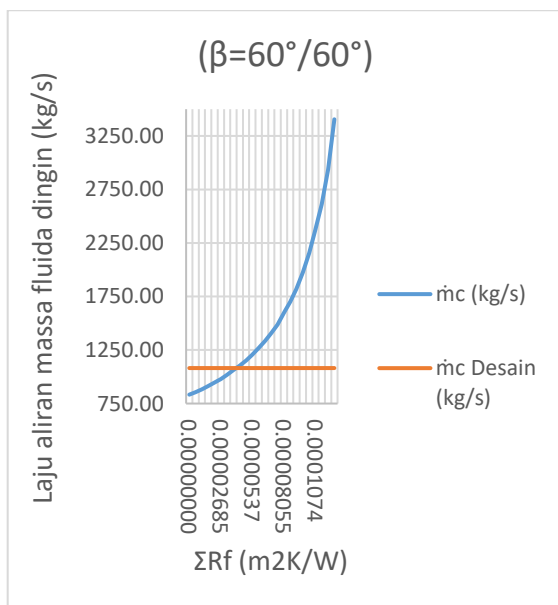
Gambar 6 Analisa *performance* suhu fluida dingin yang keluar dari *plate heat exchanger*  $\beta = 30^\circ/60^\circ$



Gambar 7 Analisa *performance* laju aliran massa fluida dingin *plate heat exchanger*  $\beta = 30^\circ/30^\circ$



Gambar 9 Analisa *performance* laju aliran massa fluida dingin *plate heat exchanger*  $\beta = 30^\circ/60^\circ$



Gambar 8 Analisa *performance* laju aliran massa fluida dingin *plate heat exchanger*  $\beta = 60^\circ/60^\circ$

Analisa *performance plate heat exchanger* yang telah dirancang dengan pengaturan sudut *chevron* pada faktor pengotoran yang konstan, dimana pada gambar grafik metode desain konvensional ini *heat exchanger* tersebut pada kondisi beban *thermal* konstan maka dapat terlihat suhu fluida dingin yang keluar ( $T_{c2}$ ) dari *heat exchanger* lebih tinggi dari nilai yang telah ditetapkan pada saat perancangan. Begitu juga dengan laju aliran massa fluida dingin yang mengalir kedalam *heat exchanger*, maka dapat dilihat bahwa laju aliran massa fluida dingin harus dioperasikan pada nilai yang lebih rendah dari nilai yang ditetapkan pada saat perancangan.

Dari 3 (tiga) pengaturan sudut *chevron* yang telah dirancang, yaitu  $\beta = 30^\circ/30^\circ$ ,  $\beta = 60^\circ/60^\circ$  dan  $\beta = 30^\circ/60^\circ$  dapat dilihat pada pengaturan sudut *chevron*  $\beta = 30^\circ/60^\circ$  penurunan suhu fluida dingin yang keluar dari *heat exchanger* lebih lambat dibanding dengan pengaturan sudut *chevron* yang lain. Begitu juga dengan laju aliran massa fluida dingin yang mengalir kedalam *heat exchanger* pada pengaturan sudut *chevron*  $\beta = 30^\circ/60^\circ$  terjadi kenaikan yang lebih lambat dibanding pengaturan sudut *chevron* yang lain dengan begitu pembentukan pengotoran juga menjadi lebih lambat dibanding sudut *chevron* yang lain. Dikarenakan dengan semakin meningkatnya

laju aliran fluida pada permukaan yang lebih rendah dapat menyebabkan laju *removal deposit* menjadi lebih rendah sehingga pada akhirnya laju pertumbuhan pengotoran pada permukaan *heat exchanger* akan semakin tinggi.

Dengan demikian laju pembentukan pengotoran pada permukaan *plate heat exchanger* pada sudut *chevron*  $\beta = 30^\circ/60^\circ$  akan lebih rendah dibanding sudut *chevron* yang lain.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

1. Analisa pada *plate heat exchanger* yang dilakukan selama 24 minggu menunjukkan bahwa laju perpindahan panas dan koefisien perpindahan panas menyeluruh mengalami penurunan seiring dengan semakin lamanya *heat exchanger* beroperasi.
2. Faktor pengotoran (*fouling*) sangat mempengaruhi perpindahan panas pada *heat exchanger*, semakin tinggi faktor pengotoran maka akan semakin turun perpindahan panas yang terjadi didalam *heat exchanger*.
3. Penelitian dengan melakukan analisa pengaturan sudut *chevron* pada *plate heat exchanger* menunjukkan bahwa pada pengaturan sudut *chevron*  $\beta=30^\circ/60^\circ$  akan mengalami penurunan suhu fluida dingin yang keluar dari *heat exchanger* lebih lambat dibanding dengan pengaturan sudut *chevron* yang lain. Pada sudut *chevron*  $\beta=30^\circ/60^\circ$  suhu fluida dingin yang keluar dari *heat exchanger* akan menyentuh suhu desain awal rancangan *heat exchanger* pada minggu ke-9 dengan nilai suhu  $34.68^\circ\text{C}$  lebih lambat 1 sampai 2 minggu dibanding dengan sudut *chevron*  $\beta = 30^\circ/30^\circ$  dan  $\beta = 60^\circ/60^\circ$ .

### Saran

1. Perlu adanya suatu kajian penelitian lanjutan terkait bidang yang sama, tetapi dengan menggunakan korelasi lain untuk menentukan koefisien perpindahan panas menyeluruh yang terbaik yang tergantung pada pengaturan dari disain sudut *chevron plate heat exchanger* yang ideal.

## DAFTAR PUSTAKA

Anusha, G., & Kishore, P. S. (2016). Heat Transfer Analysis of Gasketed Plate Heat Exchanger, *6890(5)*, 943–947.

Asadi, M., & Khoshkhoo, R. H. (2014). Effects of Chevron Angle on Thermal Performance of Corrugated Plate Heat Exchanger. *International Journal of Engineering Practical Research*, *3(1)*, 8.

Bohnet, M. (1987). Fouling of heat transfer surfaces. *Chemical Engineering & Technology*, *10(1)*, 113–125.

Cengel, Y. A., & Ghajar, A. J. (2011). *Heat and Mass Transfer: Fundamentals and Applications* (5th ed.). New York: McGraw-Hill Education.

Kakac, S., Liu, H., & Pramuanjaroenkij, A. (2012). *Heat Exchanger Selection, Rating, and Thermal Design* (3rd ed.). Broken Sound Parkway NW: Taylor & Francis Group, LLC.

MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES. (2010a). Tanjung Priok COMBINED CYCLE POWER PLANT, *Heat Exchanger PHT-C11081*. MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.

MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES. (2010b). Tanjung Priok COMBINED CYCLE POWER PLANT HEAT EXCHANGER SITE TRAINING MANUAL PHT-C-11080 Rev. 0. MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.

Muley, A., & Manglik, R. M. (1999). Experimental Study of Turbulent Flow Heat Transfer and Pressure Drop in a Plate Heat Exchanger With Chevron Plates. *Journal of Heat Transfer*, *121(1)*, 110.

Muley, A., Manglik, R. M., & Metwally, H. M. (1999). Enhanced Heat Transfer Characteristics of Viscous Liquid Flows in a Chevron Plate Heat Exchanger. *Journal of Heat Transfer*, *121(November)*, 1011–1017.

Ramesh, V., & St, M. (2016). Design and thermal analysis of a plate heat exchanger, (May).

Sulis Yulianto, Fadwah Maghfurah, Munzir Qadri, (2014), Perencanaan Pembuatan Alat Penukar Kalor Jenis *Shell And Tube* Skala Laboratorium, Prosiding Semnastek FT UMJ, hal 1–4

Shah, R. K., & Sekulic, D. P. (2003). *Fundamentals of Heat Exchanger*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

Sulis Yulianto, Fadwah Maghfurah, (2015). Analisa Disain Rancangan Sebuah Alat

Penukar Kalor Jenis *Shell And Tube*  
Skala Laboratorium, Jurnal Sintek, Vol  
9, No 2, hal 25–28.

Thulukkanam, K. (2013). *Heat Exchanger  
Design Handbook, Second Edition* (2nd  
ed., Vol. 20135140).

Yulianto, S., Maghfurah, F., & Qadri, M.  
(2015). Perencanaan Jumlah Tube  
Sebuah Alat Penukar Kalor Pada Saat  
Beda Temperatur Rata-rata 20% Lebih  
Tinggi Dari Disain Rancangan,  
Prosiding Semnastek FT UMJ, hal 1 – 4.

Yulianto, S., Maghfurah, F., & Qadri, M.  
(2014). *A Study on the Characteristic of  
Fouling Factor of a Laboratory Scale  
Shell and Tube Heat Exchanger*,  
Universitas Muhammadiyah Surakarta  
ICETIA, hal 375–378.