

Pengaruh Peletakan *Static Radial Fin Mixer* Terhadap Unjuk Kerja *Heat Exchanger* Tipe *Counter Flow*

Purnami

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.
Jl. MT Haryono no 167, Malang 65145
E-mail : purnami.ftub@ub.ac.id

Abstrak

Heat exchanger adalah penukar kalor antara dua fluida yang mempunyai perbedaan temperatur dengan cara menjaga agar kedua fluida tersebut tidak saling bercampur. Sampai saat ini telah dikembangkan berbagai jenis *heat exchanger*. Berbagai penelitian dan rekayasa pun telah dilakukan untuk meningkatkan unjuk kerja *heat exchanger*. Salah satu cara untuk meningkatkan unjuk kerja *heat exchanger* adalah dengan pemasangan *turbulator* pada *heat exchanger*. Tujuan pemasangan *turbulator* untuk menimbulkan perbedaan kecepatan antar lapisan fluida sehingga menimbulkan efek turbulensi. Dengan adanya efek turbulensi diharapkan laju perpindahan panas akan semakin meningkat. Salah satu jenis *turbulator* yang biasa digunakan adalah *static radial fin mixer*. Seberapa besar efek turbulensi yang dihasilkan oleh pemasangan *static radial fin mixer*, dipengaruhi oleh banyak hal, termasuk posisi pemasangan *static radial fin mixer* yang diukur dari sisi masuk air. Dampak lain dari pemasangan *static radial fin mixer* adalah terjadinya peningkatan *pressure drop* dan ini dianggap sebagai hal yang kurang menguntungkan dari pemasangan *static radial fin mixer*. Berangkat dari realitas seperti itulah perlu diadakan penelitian untuk mengetahui pada posisi mana pemasangan *static radial fin mixer* yang bisa menghasilkan laju aliran kalor terbesar dengan *pressure drop* seminimal mungkin.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh jarak peletakan *static radial fin mixer* terhadap unjuk kerja *heat exchanger*. Unjuk kerja yang dimaksud dalam penelitian ini meliputi laju aliran kalor dan *pressure drop*. Dalam penelitian ini digunakan 3 (tiga) variasi jarak peletakan *static radial fin mixer* yaitu 250 mm, 500 mm, dan 750 mm, dengan laju fluida (air) panas divariasikan mulai dari 400 liter/jam sampai 900 liter/jam.

Hasil pengujian menunjukkan, pemasangan *static radial fin mixer* pada semua variasi jarak menyebabkan peningkatan laju aliran kalor dan *pressure drop* dibanding tanpa pemasangan *static radial fin mixer*. Laju aliran kalor yang tertinggi didapatkan pada jarak peletakan *static radial fin mixer* 250 mm yaitu sebesar 5,48 kW, dengan *pressure drop* terkecil sebesar 626,97 N/m².

Kata kunci : *Static radial fin mixer*, *heat exchanger*, laju perpindahan kalor, *pressure drop*

Pendahuluan

Latar Belakang

Heat exchanger adalah alat yang digunakan untuk memindahkan energi kalor. Proses perpindahan panas yang terjadi adalah pada dua atau lebih jenis fluida dengan temperatur yang berbeda. Pada perkembangan yang ada dibutuhkan perpindahan panas secara tepat dan efisien dengan pengaturan temperatur (T) dan debit (Q) yang diinginkan. Salah satu cara yang ditempuh untuk meningkatkan laju aliran perpindahan kalor adalah dengan menggunakan *turbulator*. Dalam aplikasi *heat exchanger* di lapangan banyak permasalahan yang masih ditimbulkan, misalnya laju perpindahan kalor yang ditransfer oleh *heat exchanger* kurang baik. Untuk

mengatasi permasalahan tersebut adalah dengan membuat aliran turbulen dalam pipa sehingga pada *heat exchanger* mampu mentransfer kalor dengan baik.

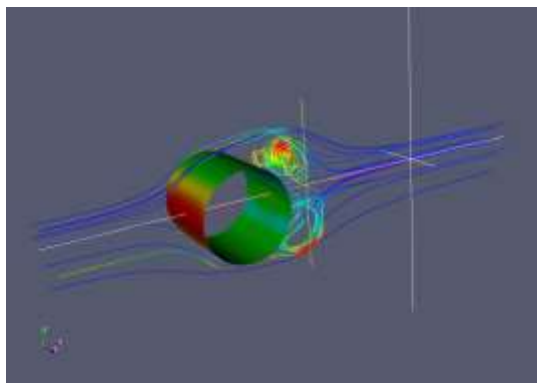
Efek dari adanya *turbulator* pada *heat exchanger* adalah mempengaruhi perbedaan kecepatan antar lapisan fluida sehingga menimbulkan *vortex* dalam aliran, dengan timbulnya *vortex* yang ada akan mempengaruhi nilai dari bilangan Reynold (Re) sehingga meningkatkan *heat transfer coefficient*, adanya peningkatan nilai *heat transfer coefficient* akan memperbesar laju perpindahan kalor yang terjadi pada *heat exchanger*, selain itu efek lain dari *turbulator* adalah mengganggu dan memecah aliran *stream line* yang ada pada fluida.

Untuk menambah kajian dari penelitian yang ada mengenai jenis *turbulator* yang digunakan, belum ada

penelitian yang menggunakan *static radial fin mixer* sebagai *turbulator* untuk meningkatkan laju perpindahan kalor pada *heat exchanger*. Untuk itu perlu adanya penelitian tentang pengaruh *static radial fin mixer* terhadap laju perpindahan kalor. Di dalam keuntungan pasti ada kerugian, dalam *heat exchanger* ini penurunan tekanan yang terjadi tentunya harus diteliti pula, karena berkaitan dengan kerja pompa yang berhubungan pada konsumsi pemakaian listrik. *Static radial fin mixer* memiliki kelebihan dimana sirip atau *fin* memiliki sudut kemiringan tertentu, yang diharapkan dapat membuat gerak acak yang lebih tinggi. Untuk pemasangan letak *static radial fin mixer* sendiri perlu diteliti sehingga kita mendapatkan peletakan *radial fin mixer* yang optimal.

Studi Referensi

Vortex adalah massa fluida yang partikel-partikelnya bergerak berputar dengan garis arus (*streamline*) membentuk lingkaran konsentris.



Gambar 1. Vortex

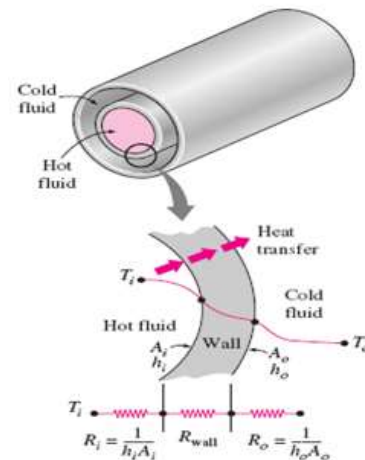
Bilangan *Reynold* merupakan bilangan tak berdimensi yang menunjukkan perbandingan antara gaya inersia terhadap gaya viskos dari suatu fluida. Secara matematis besarnya angka *Reynold* dapat dirumuskan sebagai berikut

$$Re = \frac{\text{inertia force}}{\text{viscous force}} = \frac{V_{\infty} \delta}{\nu}$$

Peningkatan kinerja alat penukar kalor berarti memindahkan kerja lebih besar atau melakukan pertukaran temperature antar fluida yang lebih cepat. Salah satunya dengan peningkatan perpindahan kalor menyeluruh U (*Overall heat transfer coefficient*), karena U ini sangat berhubungan dengan area perpindahan kalor A , laju perpindahan kalor Q dan perbedaan temperatur ΔT .

$$Q = U A \Delta T$$

Suatu alat penukar kalor pada umumnya terdapat dua fluida yang memiliki beda temperatur yang dipindahkan oleh dinding sehingga akan terjadi tiga proses perpindahan kalor yaitu proses perpindahan kalor konveksi yang terjadi antara fluida dengan permukaan bagian dalam pipa dari pipa dalam (*inner tube*), perpindahan kalor konduksi yang terjadi dari permukaan dalam hingga permukaan luar dari pipa dalam (*inner tube*), serta proses perpindahan kalor konveksi antara fluida yang terdapat pada pipa luar (*outer tube*) dengan permukaan luar dari pipa dalam (*inner tube*). Dijelaskan lebih detail pada gambar dibawah ini.



Gambar 2. Hambatan *thermal* pada *concentric double tube heat exchanger*

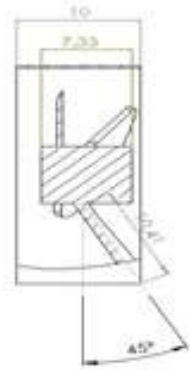
Perpindahan kalor menyeluruh dapat dinyatakan

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

Penurunan tekanan yang terjadi pada alat penukar kalor dapat dirumuskan :

$$\Delta P = \rho g h_f$$

Radial Fin mixer merupakan suatu pengarah atau pengacak aliran yang dipasang pada saluran dengan tujuan mengganggu jalannya aliran fluida, sehingga dengan adanya *Radial Fin Mixer* maka akan meningkatkan intensitas turbulensi pada saluran yang mengakibatkan timbulnya pusaran atau olakan (*vortex*) di dalam saluran tersebut.

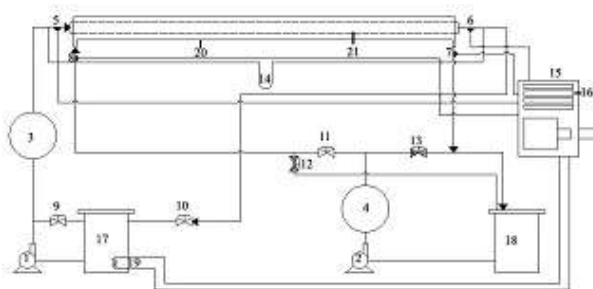


Gambar 3. Radial fin mixer

Metoda Eksperimen & Fasilitas Yang Digunakan

Variabel bebas dalam penelitian ini yaitu Debit fluida air panas pada bagian pipa dalam divariasikan dari 400 sampai 900 lt/jam jarak peletakan *static radial fin mixer* dengan memvariasi jarak (mm) yaitu 250; 500; 750. Sedangkan variabel terikat yang diamati dalam penelitian ini adalah laju perpindahan kalor dan penurunan tekanan

Skema alat penelitian yang digunakan sebagai berikut



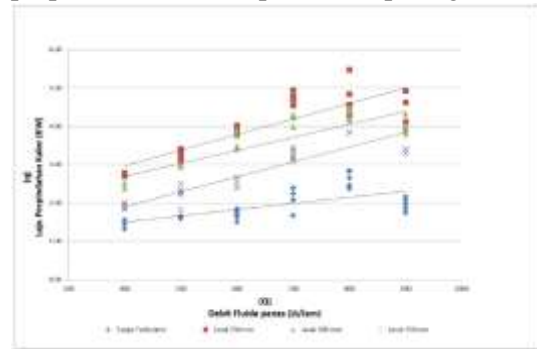
Keterangan gambar di atas :

- | | |
|---------------------------------------|------------------------------------|
| 1. Pompa air panas. | 13. Ball valve pengisi air dingin. |
| 2. Pompa air dingin. | 14. Manometer. |
| 3. Debit meter air panas. | 15. Control Panel. |
| 4. Debit meter air dingin. | 16. Display Digital. |
| 5. LM35 untuk sisi masuk air panas. | 17. Reservoir air panas. |
| 6. LM35 untuk sisi keluar air panas. | 18. Reservoir air dingin. |
| 7. LM35 untuk sisi keluar air dingin. | 19. Heater. |
| 8. LM35 untuk sisi masuk air dingin. | 20. Pipa fluida dingin. |
| 9. Ball valve pengisi air panas. | 21. Pipa fluida panas. |
| 10. Ball valve pembuangan air panas. | 22. Static Radial Fin Mixer |
| 11. Ball valve pengisi air dingin. | |
| 12. Ball valve pembuangan air dingin. | |

Gambar 4. Skema alat penelitian

Hasil dan Pembahasan

Hubungan antara debit fluida panas dengan laju perpindahan kalor dapat dilihat pada grafik berikut



Grafik 1. Hubungan antara debit fluida panas dengan laju perpindahan kalor

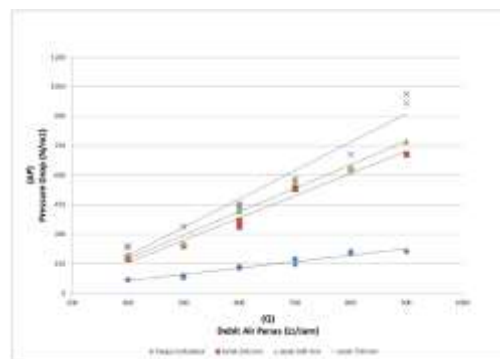
Pada grafik 1 terlihat bahwa pada debit aliran fluida panas yang konstan terdapat kecenderungan peningkatan laju perpindahan kalor pada tiap-tiap variasi peletakan *static radial fin mixer*, hal ini disebabkan pemasangan peletakan *static radial fin mixer* yang bervariasi pada aliran fluida panas akan menyebabkan perubahan garis aliran. Arah aliran fluida dari sisi masuk melewati *static radial fin mixer* yang diletakkan pada 250 mm dari sisi masuk akan mengalami laju perpindahan kalor yang paling tinggi dikarenakan arah aliran dari sisi masuk sudah memiliki pusaran (*vortex*) atau olakan sehingga ketika fluida melewati *static radial fin mixer*, olakan tersebut akan semakin membesar, pusaran atau olakan (*vortex*) partikel-partikel fluida inilah yang bergerak acak saling bercampur dan berinteraksi, selanjutnya akan terjadi pertukaran energi kalor antar partikel yang bergerak secara acak sehingga meningkatkan perpindahan kalor konveksi serta laju perpindahan kalor akan bertambah. Hal ini sesuai dengan persamaan $L_h \text{ turbulen} \approx 10 D$, dimana D merupakan diameter hidrolis pipa yang dialiri air panas yaitu sebesar 2,54 mm, sehingga untuk mencapai *fully developed flow* dari sisi masuk fluida yaitu terjadi pada jarak 254 mm. Ketika fluida melewati *static radial fin mixer* yang di letakkan pada jarak 250 mm, maka olakan (*vortex*) akan terjadi kembali sehingga fluida bergerak acak secara fluktuatif. Adanya gerakan fluida yang acak ini akan meningkatkan perpindahan kalor secara konveksi di pipa dalam (*tube*) sehingga fluida panas akan semakin cepat menggantikan fluida panas yang telah dingin di sekitar permukaan dinding pipa dalam (*tube*) dengan fluida panas yang lain sehingga dihasilkan beda temperatur fluida yang lebih besar pada lapisan-lapisan fluida yang saling berinteraksi

melakukan perpindahan kalor tersebut, sesuai dengan persamaan $q = \dot{m} C \Delta T$.

Laju perpindahan kalor akan sebanding dengan beda temperatur antar fluida masuk dan fluida keluar yang saling berinteraksi melakukan perpindahan kalor, hal tersebut menyebabkan laju perpindahan kalor semakin tinggi. Berbeda halnya dengan *static radial fin mixer* yang diletakan pada jarak 500 mm dan 750 mm, fluida yang keluar dari sisi masuk yang semula berbentuk olakan, akan semakin berkurang olakan tersebut seiring dengan bertambahnya jarak yang ditempuh fluida mengingat L_h , $turbulen \approx 10 D$, sehingga laju perpindahan kalorpun semakin berkurang. Dapat disimpulkan bahwa semakin jauh jarak peletakan *static radial fin mixer* dari sisi masuk fluida panas akan menyebabkan penurunan intensitas turbulensi pada aliran, hal ini mengakibatkan transfer energi kalor akan semakin berkurang. Maka terlihat bahwa peletakan *static radial fin mixer* 250 mm pada debit yang sama memiliki nilai laju perpindahan kalor yang lebih tinggi dibandingkan dengan peletakan pada jarak 500 mm dan 750 mm.

Pada grafik 1 terlihat bahwa laju perpindahan kalor terkecil terjadi pada debit 400 liter/jam pada variasi tanpa menggunakan *static radial fin mixer*, yaitu sebesar 1,32 kW. Namun pada debit yang sama dengan pemasangan *static radial fin mixer* dengan jarak peletakan 250 mm terjadi peningkatan laju perpindahan kalor yang cukup signifikan, yaitu sebesar 2,78 kW, begitu juga yang terjadi pada jarak peletakan 500 mm dan 750 mm. Pada grafik juga terlihat bahwa laju perpindahan kalor tertinggi terjadi pada debit 800 liter/jam dengan menggunakan *static radial fin mixer* yang diletakkan pada jarak 250 mm yaitu sebesar 5,48 kW. Jika dibandingkan dengan laju perpindahan kalor pada debit yang sama namun tanpa menggunakan *static radial fin mixer* dan pada peletakan 250 mm, 500 mm serta peletakan 750 mm, terjadi peningkatan laju perpindahan kalor pada tiap-tiap variasi jarak peletakan. Peningkatan laju perpindahan kalor ini menunjukkan bahwa penggunaan *static radial fin mixer* berpengaruh terhadap laju perpindahan kalor, peningkatan laju perpindahan kalor juga sebanding dengan kenaikan variasi debit aliran fluida panas.

Hubungan debit fluida panas terhadap *pressure drop* pada variasi jarak peletakan *static radial fin mixer* ditunjukkan pada grafik 2.



Grafik 2. Hubungan debit fluida panas terhadap *pressure drop*

Hubungan debit fluida panas terhadap *pressure drop* pada variasi jarak peletakan *static radial fin mixer* ditunjukkan pada grafik 2. *Pressure drop* yang terjadi disini adalah pada *inner tube* yang dialiri fluida panas, yaitu perbedaan tekanan antara fluida panas yang masuk pada *inner tube* dan fluida panas yang keluar dari *inner tube*. Pada *heat exchanger*, semakin tinggi *pressure drop* akan menyebabkan semakin tinggi daya yang dibutuhkan oleh pompa atau kompresor yang digunakan untuk mengalirkan fluida untuk mengalirkan fluida. Sehingga pada *heat exchanger* diupayakan menghasilkan *pressure drop* yang kecil agar kerja pompa atau kompresor yang dibutuhkan tidak terlalu besar.

Dari grafik di atas terlihat bahwa pada jarak peletakan *static radial fin mixer* yang konstan dengan semakin bertambahnya debit fluida panas akan mengakibatkan terjadinya peningkatan *pressure drop* pada *inner tube*. Pada grafik terlihat *pressure drop* memiliki kecenderungan yang terus meningkat seiring dengan bertambahnya debit. Kecenderungan *pressure drop* yang terus meningkat ini diakibatkan oleh debit fluida yang semakin besar akan meningkatkan kecepatan alir fluida sehingga mengakibatkan *head losses* akan semakin tinggi yang terdiri dari *major* dan *minor losses*. Berdasarkan persamaan $\Delta P = \rho \cdot g \cdot h_{total}$, *pressure drop* berbanding lurus dengan *head losses* dan kecepatan berbanding lurus dengan debit, sehingga *pressure drop* juga berbanding lurus dengan debit. Pada variasi debit, *pressure drop* terkecil selalu terjadi pada *heat exchanger* tanpa *turbulator*, *Pressure drop* terkecil dapat terjadi karena pada *heat exchanger* tanpa *turbulator* hanya disebabkan oleh *major losses* saja. Sehingga *pressure drop* pada *heat exchanger* tanpa *turbulator* akan selalu lebih kecil dibanding dengan menggunakan *turbulator* yang disebabkan oleh *major losses* dan *minor losses*.

Sedangkan pengaruh jarak peletakan *static radial fin mixer* terhadap *pressure drop* pada grafik 2 di atas

dapat dilihat bahwa *pressure drop* berbanding lurus dengan semakin jauhnya jarak peletakan *static radial fin mixer* dan meningkatnya debit air panas. Baik *minor* maupun *major losses* berbanding lurus dengan kuadrat kecepatan fluida sehingga pada jarak L dari sisi masuk pipa fluida panas dimana L pada jarak 750 mm memiliki nilai *major losses* yang lebih besar dibandingkan dengan jarak 250 mm dan 500 mm. Ketika fluida panas mengalir pada jarak $L=750$ mm dan pada jarak tersebut terdapat *radial fin mixer* maka akan terjadi akumulasi *pressure drop* akibat adanya *major losses* dan *minor losses*. Sehingga semakin jauh jarak peletakan *radial fin mixer*, maka *pressure drop* pun akan semakin meningkat.

Pressure drop terkecil terjadi pada debit 400 liter/jam pada variasi tanpa menggunakan turbulator yaitu sebesar $67,52 \text{ N/m}^2$. Pada debit fluida yang sama dengan menggunakan jarak peletakan *static radial fin mixer* 250 mm, *pressure drop* meningkat menjadi $183,27 \text{ N/m}^2$. *Pressure drop* tertinggi terjadi pada debit 900 liter/jam dengan menggunakan jarak peletakan *static radial fin mixer* 750 mm yaitu sebesar $1012,72 \text{ N/m}^2$. Peningkatan nilai *pressure drop* ini menunjukkan bahwa penggunaan *turbulator* akan meningkatkan *pressure drop*, dimana kecenderungan meningkatkannya *pressure drop* terletak pada jarak peletakan yang paling jauh dari sisi masuk dan semakin besar debit aliran fluida panas yang mengalir maka *pressure drop* juga akan semakin besar. *pressure drop* yang semakin besar ini disebabkan oleh meningkatnya *head losses*, yang mana terdiri dari *major losses* dan *minor losses*.

Kesimpulan

Dari hasil penelitian didapatkan kesimpulan bahwa variasi jarak peletakan *static radial fin mixer* memiliki pengaruh yang nyata terhadap laju perpindahan kalor dan *pressure drop*, dimana semakin dekat dengan sisi masuk jarak peletakan *static radial fin mixer* akan meningkatkan laju perpindahan kalor dan *pressure drop*. Nilai laju perpindahan kalor yang optimal terjadi pada variasi jarak peletakan 250 mm yaitu sebesar 5,48 kW dengan nilai *pressure drop* $626,97 \text{ N/m}^2$.

Ucapan Terima kasih

Terima kasih sebesar besarnya diberikan kepada saudara Denny Widhiyanuriyawan dan Ridho Maulana atas kontribusi yang sangat besar dalam penulisan makalah ini.

Nomenklatur

Re	: Reynold Number
V_{∞}	: Kecepatan aliran (m/s)
Δ	: Karakteristik panjang atau geometri (m)
ν	: Kinematic Viscosity (m^2/s)
Q	: Laju perpindahan kalor(W)
U	: Koeffisien perpindahan kalor menyeluruh
h	: Koeffisien perpindahan kalor konveksi ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$)
A	: Luas permukaan panas pipa (m^2)
K	: Konduktivitas <i>thermal</i> bahan ($\text{W}/\text{m} \cdot ^\circ\text{C}$)
D	: Diameter pipa (m)
L	: Panjang pipa (m)
i/o	: i (bagian pipa dalam), o (bagian pipa luar)
ΔP	: Penurunan tekanan(kg/m^2)
P	: Massa jenis fluida (kg/m^3)
g	: Percepatan gravitasi (m/s^2)
h_f	: Kerugian gesek (m)

Referensi

- Cengel, Yunus A; 1994: *Heat Transfer a Practical Approach*; McGraw-Hill Companies Inc, New York.
- Cengel, Yunus A. dan Turner, Robert H; 2001: *Fundamentals of Thermal-Fluid Sciences*; Edisi pertama; McGraw-Hill Companies Inc, New York.
- Eiamsa-ard, Smith. Pethkool, Somsak. Thianpong, Chinaruk. dan Promvonge, P.; 2007: *Heat Transfer and Pressure Drop Characteristics in a Double-pipe Heat Exchanger Fitted with a Turbulator.*; Bangkok, Thailand.
- Fox, Robert W., Alan T. Mc Donald; 1976 : *Introduction to Fluid Mechanics, Fourth Edition*; John Wiley and Sons, Inc, New York.
- Holman, J.P; 1991: *Perpindahan Kalor*; Edisi kelima; Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Kreith, Frank; 1997: *Prinsip-prinsip Perpindahan Kalor*; Edisi Ketiga; Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Leinhard, John H; 2005: *A Heat Transfer Textbook*; 3rd edition; Phlogiston Press, Massachusetts.