

# Pengaruh Sudu Pengarah Terhadap Peningkatan Temperatur Aliran Penukar Panas Udara Tubular Aliran Berlawanan

Syukran<sup>1</sup>, Usman<sup>2</sup>, Fakhriza<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup>Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Lhokseumawe  
Jln. B.Aceh Medan Km.280 Buketrata 24301 INDONESIA

syukran@pnl.ac.id

**Abstrak**— Penukar/pemindah panas (*heat exchangers*, HE) adalah peralatan yang digunakan untuk mengubah temperatur fluida dengan cara mempertukarkan panasnya dengan fluida lain. Pemakaian sudu pengarah pada penukar panas diyakini dapat meningkatkan perpindahan panas. Dalam aplikasi pengering penukar panas umumnya digunakan untuk mengeringkan produk hasil perkebunan seperti kopi, coklat, pinang, dan lain-lain. Penelitian aplikasi penukar panas untuk pengering telah banyak dilakukan sebelumnya, namun fokus penelitian umumnya untuk kasus penukar panas tanpa sudu pengarah, sedangkan penelitian untuk kasus penukar panas menggunakan sudu pengarah belum ditemukan. Tujuan utama penelitian ini adalah mengetahui peningkatan temperatur pengaruh pemasangan sudu pengarah pada penukar panas udara jenis aliran berlawanan. Penelitian dilakukan dengan melakukan fabrikasi 2 (dua) unit penukar panas 100cm (p)x12 inci(d) tipe shell and tube yang menggunakan sudu pengarah dan tidak menggunakan sudu pengarah. Hasil pengujian 1) Pemasangan sudu pengarah dalam laluan aliran menyebabkan terjadi kenaikan temperatur sebesar 62°C atau 91,2%. Efisiensi penukar panas menggunakan sudu pengarah (38%) jauh lebih tinggi dibanding penukar panas tanpa sudu pengarah (14,0%).

**Kata kunci**— Penukar panas, *shell, tube*, sudu pengarah, efisiensi.

**Abstract**— Heat exchangers are equipment used to change fluid temperature by exchanging heat with other fluids. The use of guide blades in the heat exchanger is believed to increase heat transfer. In the heat exchanger dryer application is generally used to dry agriculture products such as coffee, chocolate, areca nut and others. Research on application of heat exchangers for dryers has been done previously, but the focus of the research is generally on the case of heat exchangers without baffle, while research for cases of heat exchangers using baffle has not been found. The main objective of this study was to determine the increase in the temperature of the influence of baffle on the opposite flow in counter flow heat exchanger. The research was carried out by fabricating 2 (two) unit heat exchanger shell and tube 100cm (p) x12 inch (d) that used baffle and non baffle. Test results 1) Installation of baffle in the flow path causes a temperature increase of 62°C or 91.2%. The efficiency of the heat exchanger using the baffle (38%) is much higher than that of the heat exchanger without baffle (14.0%).

**Keywords**— Heat exchanger, shell and tube, baffle, efficiency.

## I. PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Alat penukar panas (*Heat exchanger*) adalah suatu alat yang digunakan untuk mengubah temperatur fluida atau mengubah fasa fluida dengan cara mempertukarkan panasnya dengan fluida lain. Kemampuan mempertukarkan panas sangat ditentukan oleh jenis aliran fluida dan fluida yang melewati penukar panas. Alat penukar panas dirancang sebisa mungkin agar perpindahan panas antar fluida dapat berlangsung secara efisien. Pertukaran panas terjadi karena adanya kontak, baik antara fluida terdapat dinding yang memisahkannya maupun keduanya bercampur langsung begitu saja

Berdasarkan arah aliran fluida, penukar panas dibedakan menjadi 3 (tiga) jenis aliran, yaitu aliran searah (*parallel flow*), aliran berlawanan (*counter flow*) dan aliran silang. Pada penukar panas jenis aliran searah, fluida yang memanaskan dan fluida yang dipanaskan masuk pada sisi yang sama kemudian keluar pada sisi yang sama pula. Pada penukar panas aliran berlawanan, kedua fluida masuk dan keluar pada sisi yang berbeda, sedangkan pada penukar panas aliran silang, kedua fluida mengalir dengan saling bersilangan.

Saat ini penukar panas banyak dipakai dalam industri pengolahan minyak dan gas Selain itu penukar panas juga banyak dipakai dalam aplikasi industri pengeringan produk-produk pertanian, perkebunan dan perikanan skala besar. Sedangkan dalam industri kecil dan menengah umumnya masih mengandalkan pengeringan dengan pengeringan

matahari yang membutuhkan lahan yang besar dan waktu pengeringan yang lama sebagaimana ditunjukkan gambar di bawah ini:



Gambar 1-1. Pengeringan yang mengandalkan sinar matahari langsung

Penggunaan penukar panas dalam bidang pengeringan saat ini sudah menjadi kebutuhan untuk mengatasi permasalahan pengeringan langsung yang membutuhkan waktu yang relatif lama dan area pengering yang luas. Dan beberapa penelitian telah dilakukan untuk mengetahui efektifitas penukar panas tersebut. Sebagai contoh penelitian pengeringan ikan menggunakan alat penukar panas dalam bentuk oven. Hasil penelitian menunjukkan perbedaan suhu pengovenan berpengaruh terhadap kadar air ikan yang dikeringkan. Temperatur pengeringan terbaik diperoleh pada 70°C dengan waktu pengeringan 12 jam dan kadar air 39,05% [1]. Selanjutnya penelitian tentang Kaji Efisiensi Temperatur Penukar Panas Dengan Variasi Aliran Untuk Aplikasi

Pengering. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Dari ketiga jenis penukar panas, maka penukar panas aliran silang cenderung memiliki nilai *outlet* temperaur tertinggi, yakni 52,2°C. Sedangkan penukar panas aliran searah dan aliran berlawanan memiliki *outlet* temperatur masing-masing 47,6°C dan 48,4°C [2].

Berdasarkan hal tersebut maka dilakukan penelitian perbandingan *heat exchanger* aliran searah menggunakan *baffle* dan tanpa menggunakan *baffle*, tujuannya untuk mengetahui efektifitas penukar panas secara eksperimental berdasarkan aliran searah dalam upaya optimasi sistem pengering. Hasil penelitian ini nantinya sangat diperlukan dalam mengembangkan model/ produk pengering yang terbaik dapat difabrikasi sesuai dengan karakteristik batasan temperatur aman produk pengering yang ditentukan..

**B. Tinjauan Pustaka**

**1.1 Penukar Panas**

Alat penukar/pemindah panas adalah alat-alat yang digunakan untuk mengubah temperatur fluida atau mengubah fasa fluida dengan cara mempertukarkan panasnya dengan fluida lain. Arti mempertukarkan di sini adalah memberikan atau mengambil panas. Pemahaman teknologi *heat exchanger* membutuhkan pengetahuan dalam bidang termodinamika, mekanika fluida, *heat transfer*, ilmu material dan proses produksi.

Penukar panas umumnya merupakan peralatan di mana dua jenis fluida yang berbeda temperaturnya dialirkan ke dalamnya dan saling bertukar panas melalui bidang-bidang perpindahan panas atau dengan cara kontak langsung (bercampur). Bidang-bidang ini umumnya berupa dinding pipa-pipa atau sirip-sirip yang dipasangkan pada pipa (fin).

Panas yang dipindahkan di antara fluida tersebut, besarnya tergantung pada kecepatan dan arah aliran, sifat-sifat fisika fluida, kondisi permukaan, luas perpindahan panas dan beda temperatur diantara kedua fluida. Fluida yang mengalir di dalam penukar panas kadang-kadang mengandung zat-zat yang dapat mengendap/mengerak pada permukaan pipa atau bereaksi dan menyebabkan korosi atau kerusakan lainnya, sehingga performance penukar panas dapat menjadi turun.

**1.2. Jenis-jenis penukar panas [3]**

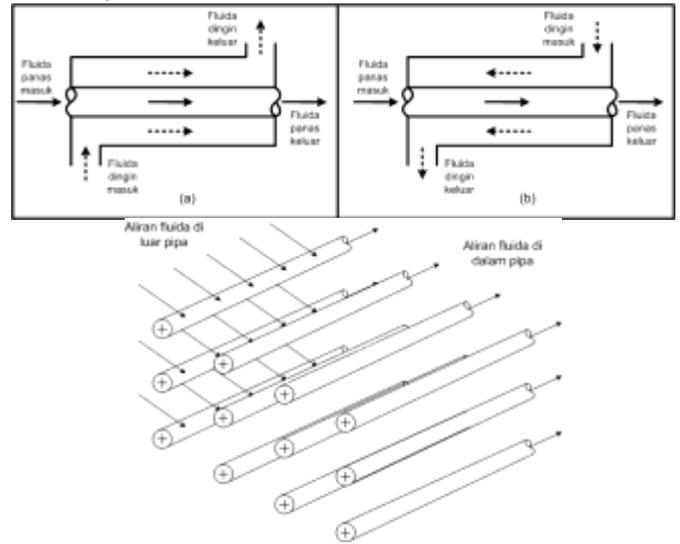
Penukar panas secara garis besar dibagi berdasarkan arah aliran fluidanya. Berdasarkan arah aliran fluida, penukar panas dibedakan menjadi 3 jenis aliran, yaitu : aliran searah (*parallel flow*), aliran berlawanan (*counter flow*) dan aliran silang (*cross flow*). Pada penukar panas jenis aliran searah, fluida yang memanaskan dan fluida yang dipanaskan masuk pada sisi yang sama kemudian keluar pada sisi yang sama. Pada penukar panas aliran berlawanan , kedua fluida masuk dan keluar pada sisi yang berbeda, sedangkan pada penukar panas aliran silang, kedua fluida mengalir dengan saling bersilangan. Ilustrasi ketiga jenis penukar panas tersebut dapat dilihat pada Gambar 1.1.

Berdasarkan jenis fasa fluida yang mengalir, *heat exchanger* dapat dibagi menjadi :

- Tipe cair – gas. Contohnya radiator mobil, cooler oli, peralatan pengkondisian udara, dan refrejerasi,

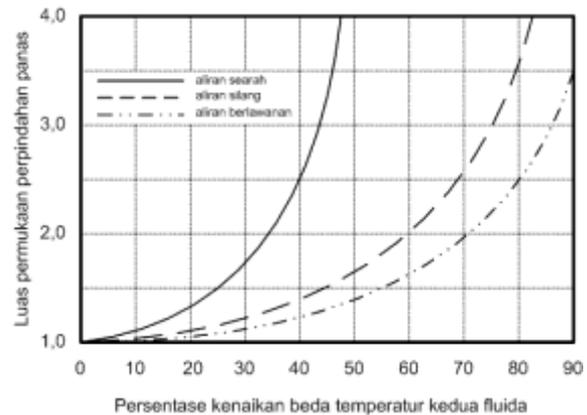
intercooler dan after cooler untuk kompresor serta cooler udara pada turbin gas.

- Tipe cair-cair
- Tipe gas-gas (dimensinya lebih besar dibanding yang lain).



Gambar 1-2 (a) Penukar panas aliran searah (*parallel flow*) (b) Penukar panas aliran berlawanan (*counter flow*) (c) Penukar panas aliran silang (*cross flow*)

Luas permukaan perpindahan panas yang dapat menghasilkan perubahan temperatur kedua fluida merupakan perbedaan utama di antara ketiga jenis penukar panas di atas. Gambar berikut ini menunjukkan luas perpindahan panas yang diperlukan masing-masing jenis penukar panas untuk mencapai perubahan temperatur fluida.



Gambar 1-3 Hubungan luas permukaan perpindahan panas dengan persentase kenaikan beda temperatur fluida

Berdasarkan gambar tersebut, terlihat bahwa penukar panas aliran searah memerlukan luas permukaan yang lebih besar dari pada kedua jenis yang lain untuk mencapai perubahan temperatur yang sama. Penukar panas aliran berlawanan memiliki luas permukaan perpindahan panas yang paling kecil.

Penukar panas aliran silang biasanya dipasang sirip-sirip untuk meningkatkan luas permukaan perpindahan panas. Penukar panas ini disebut penukar panas kompak (*compact heat exchanger*). Arti penukar panas kompak adalah penukar

panas yang memiliki perbandingan luas permukaan perpindahan panas terhadap volume penukar panas yang lebih besar atau sama. Sirip-sirip yang dipasang memiliki kerapatan yang tinggi, antara 5-20 sirip per inci. Sekurang-kurangnya salah satu fluida yang digunakan pada penukar panas kompak adalah berfasa gas. Jenis penukar panas yang dibahas pada penelitian ini adalah penukar panas kompak dengan geometri pipa berbentuk bulat (*circular tubes*).

**1.3 Mekanisme Perpindahan Panas Penukar Panas**

Perpindahan panas terjadi jika terdapat perbedaan temperatur antara dua buah zat, baik padat, cair, maupun gas. Energi dalam bentuk panas berpindah dengan 3 (tiga) macam mekanisme, yaitu secara konduksi, konveksi, dan radiasi. Perpindahan panas secara konduksi dan radiasi hanya bergantung dari perbedaan temperatur, sedangkan pada konveksi selain bergantung pada temperatur juga bergantung pada perpindahan massa yang terjadi.

Untuk menganalisis perpindahan panas pada penukar panas dalam penelitian ini, mekanisme perpindahan panas yang diperhatikan adalah konduksi dan konveksi, sedangkan mekanisme secara radiasi tidak dominan sehingga dapat diabaikan. Namun pada beberapa kasus, laju perpindahan panas konduksi juga dapat diabaikan, karena sangat kecil dibandingkan konveksi. Secara keseluruhan, mekanisme perpindahan panas yang terjadi di dalam sebuah penukar panas kompak adalah:

1. konduksi melalui dinding pipa
2. konveksi paksa di dalam pipa
3. konveksi paksa di luar pipa

**1.3.1 Konduksi Melalui Dinding Pipa**

Teori perpindahan panas secara konduksi pertama kali diperkenalkan oleh J.B.J. Fourier, 1882. Jika suatu benda/zat terdapat perbedaan/gradien temperatur, maka akan terjadi perpindahan energi dalam bentuk panas dari benda bertemperatur tinggi ke benda bertemperatur rendah. Jika perpindahan energi panas tersebut tidak disertai perpindahan massa atau pertikel benda, maka energi panas tersebut berpindah secara konduksi. Persamaan umum dari laju perpindahan panas konduksi adalah [4] :

$$q_k = -kA \frac{dT}{dx} \tag{1}$$

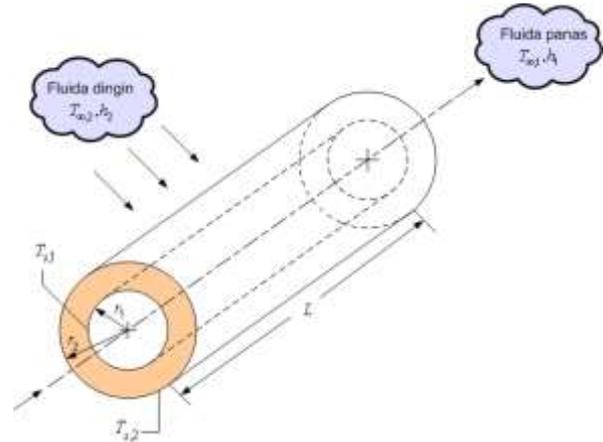
Persamaan di atas adalah hukum Fourier, dimana  $q_k$  adalah laju perpindahan panas konduksi,  $k$  adalah konduktivitas termal bahan,  $A$  adalah luas permukaan perpindahan panas, dan  $\frac{dT}{dx}$  adalah gradien temperatur.

Sebagian besar penukar panas menggunakan bentuk/geometri silindris/sirkular (Gambar 2.3). Dengan mengambil asumsi perpindahan panas konduksi terjadi secara satu dimensi dan silinder sangat panjang sehingga pengaruh pada ujung-ujungnya dapat diabaikan, persamaan laju perpindahan panas konduksi untuk geometri silindris adalah:

$$q_k = \frac{2\pi kL(T_{s,1} - T_{s,2})}{\ln(r_2/r_1)} \tag{2}$$

Sedangkan untuk resistansi termal pada dinding silinder adalah

$$R_{t,cond} = \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi kL} \tag{3}$$



Gambar 1-4 Perpindahan panas konduksi pada pipa silindris

**1.4 Tinjauan Udara Pengering Produk Pertanian dan Perkebunan**

Bahan baku produk hasil pertanian memerlukan kualitas yang baik. Salah satu parameter yang menunjukkan kualitas bahan baku yang baik adalah kadar air yang terkandung dalam bahan baku. Kandungan air bahan baku yang akan diumpangkan ke ruang pengering disyaratkan memiliki kandungan air tertentu. Bahan baku yang berasal dari tempat penyimpanan memiliki kandungan air yang masih tinggi. Tabel 1.1 menunjukkan data kandungan air rata-rata beberapa jenis produk pertanian.

Tabel 1.1. Kandungan kadar air beberapa produk pertanian dan perkebunan [5]

No	Nama Produk	Kadar air sesudah panen	Kadar air Normal	Kadar air Yang diharapkan	Temperatur diizinkan untuk pengeringan
1.	Kakau	65-70 %	22 %	6 – 7 %	60 – 70 °C
2.	Kopi	58 %	44 %	11 %	45 – 58 °C
3.	Pinang	60 %	20 %	12 %	50 – 60°C
4.	Kedelai	48 %	15 %	5 – 7 %	40 – 50 °C

Dalam pengeringan bahan baku, terdapat batasan-batasan temperatur yang perlu diperhatikan. Temperatur maksimum gas pengering tidak boleh terlalu tinggi. Selain itu, proses pemanasan yang terjadi tidak boleh menyebabkan perubahan struktur kimia bahan baku. Temperatur gas pengering yang keluar dari ruang pengering dijaga agar tidak terlalu rendah, supaya tidak terjadi kondensasi uap air yang terkandung dalam gas.

Dalam memperhitungkan kebutuhan energi panas untuk pengeringan bahan baku, ada beberapa komponen penting energi panas yang perlu diperhitungkan. Menurut literatur, untuk mengeringkan suatu material dengan kandungan air awal 40% ~ 70%. Persentase komponen energi panas untuk pengeringan material tersebut adalah :

- a. Energi panas untuk menguapkan air : 50%
- b. Energi panas untuk memanaskan air : 5%
- c. Energi panas untuk memanaskan material : 15%

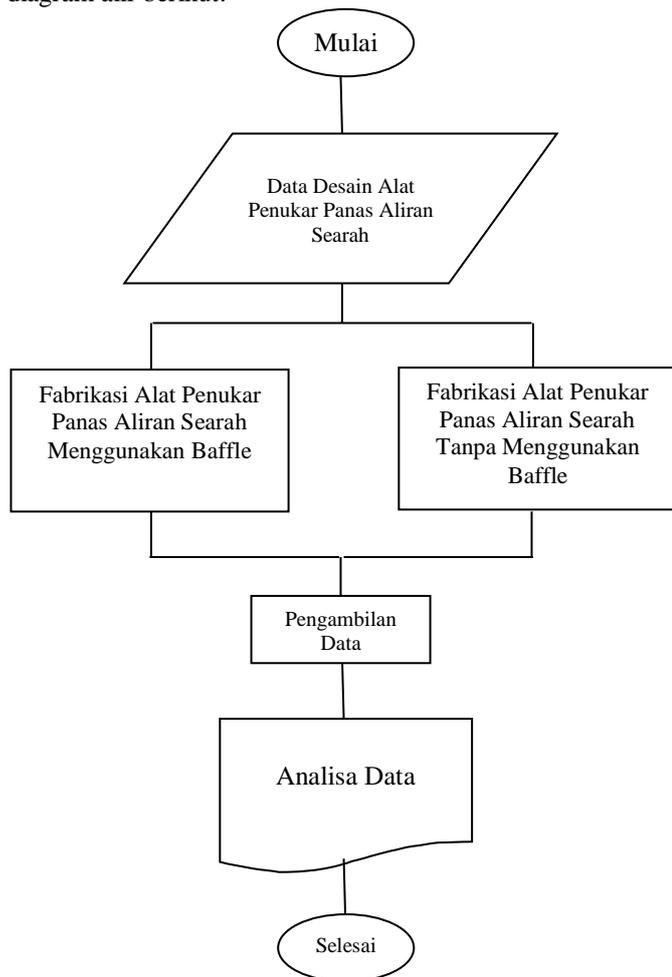
- d. Energi panas yang terbawa gas keluar pengering : 12%
- e. Energi panas terbuang ke lingkungan : 18%
- Total energi panas yang diberikan gas pengering : 100%

Untuk mempermudah perhitungan, tidak semua komponen energi panas diperhitungkan. Komponen energi panas yang dihitung adalah komponen nomor a, b, dan c saja. Maka energi panas yang digunakan untuk pengeringan bahan baku hanya 70% total energi panas yang tersedia dari gas pengering. Dengan kata lain efisiensi pengeringan bahan baku adalah 70%. Kisaran efisiensi pengeringan suatu material menurut literatur adalah antara 70-75%.

II. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Sistematika Penelitian

Penelitian ini meliputi 2 tahapan, yaitu tahap fabrikasi alat penukar panas dan tahap pengujian lapangan. Secara skematik tahapan penelitian ditunjukkan dalam diagram alir berikut:



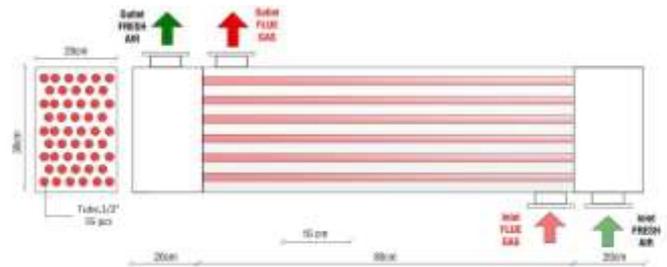
Gambar 2-5 Sistematika penelitian

2.2 Alat penelitian

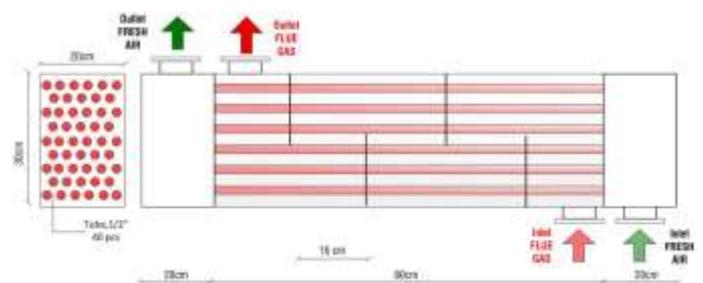
Peralatan uji penelitian ini terdiri dari 2 unit alat penukar panas yaitu penukar panas aliran searah tanpa *baffle* dan menggunakan *baffle*. Kedua jenis penukar panas tersebut memiliki spesifikasi sebagai berikut:

- Tipe : Rectangular Shell / Circular Tube
- Jenis aliran : Paralel flow
- Dimensi : Rectangular Shell : 100 (P) x 20

- (L) x 30 (T) (ASTM SA.36)
  - Tube : 0.5 inchi (ASTM SA.53)
  - Header Inlet : 4 inchi
  - Header Outlet : 4 inchi
- Kedua alat uji penukar panas tersebut seperti ditunjukkan Gambar 2-2 berikut:



Aliran Searah (Tanpa Baffle)



Aliran Searah (Menggunakan Baffle)

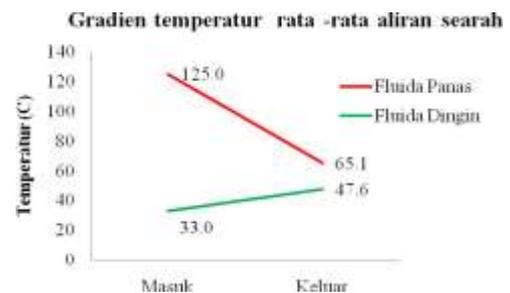
Gambar 2-6 Alat Uji Penukar Panas

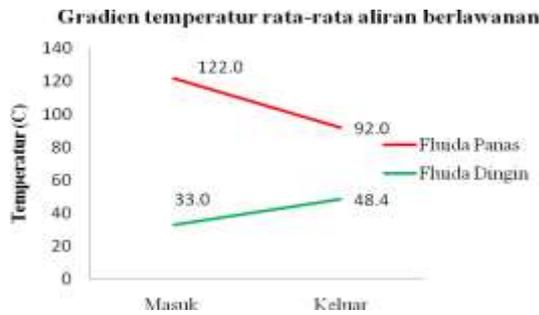
Parameter pengujian yang menjadi fokus penelitian ini adalah temperatur *inlet flue gas (Hot)*, temperatur *outlet flue gas (Hot)*, temperatur *inlet fresh air*, temperatur *outlet fresh air* dan kecepatan aliran fluida. Pengukuran temperatur dilakukan menggunakan termocouple dan pengukuran aliran dilakukan menggunakan anemometer udara.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Parameter pengujian

Hasil pengujian penukar panas untuk ketiga jenis aliran ditunjukkan dalam Gambar 4 berikut:





Gambar 4. Gradien temperatur penukar panas untuk jenis aliran sejajar, berlawanan, dan melintang.

Berdasarkan Gambar 4 dapat dijelaskan bahwa nilai TTD (*terminal temperature difference*) atau beda temperatur terbesar diperoleh pada jenis aliran sejajar sebesar 77,4°C sedangkan untuk jenis aliran melintang dan aliran berlawanan masing-masing 70,8 °C dan 73,6 °C. Namun sebaliknya nilai TD (*temperature difference*) atau beda temperatur terkecil diperoleh pada jenis aliran cross flow sebesar 65,5 °C, sedangkan untuk jenis aliran berlawanan dan aliran sejajar masing-masing 59,0 °C dan 32,1 °C.

**3.3 Efisiensi temperatur**

Berdasarkan data hasil penelitian dari ketiga jenis aliran sebagaimana gambar 4 maka diperoleh efisiensi temperatur untuk ketiga jenis exchanger tersebut seperti ditunjukkan gambar 5 berikut:



Gambar 5. Efisiensi temperatur penukar panas

Berdasarkan gambar 5 dapat dijelaskan bahwa efisiensi tertinggi dari ketiga jenis penukar panas tersebut adalah jenis aliran silang sebesar 21,3%. Sedangkan untuk jenis aliran berlawanan dan aliran sejajar masing-masing 17,3% dan 15,9%.

**IV. KESIMPULAN**

Berdasarkan hasil penelitian maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Dari ketiga jenis penukar panas, maka penukar panas alliran silang cenderung memiliki nilai *outlet* temperaur tertinggi, yakni 52,2°C. Sedangkan penukar panas aliran searah dan aliran berlawanan memiliki *outlet* temperatur masing-masing 47,6 °C dan 48,4 °C.
2. Peluang penggunaan penukar panas tersebut sebagai media penghasil udara pemanas pada aplikasi pengering produk pertanian dimungkinkan sebagai berikut
  - a. Penukar panas aliran searah dapat digunakan untuk pengeringan kedelai, kopi
  - b. Penukar panas aliran berlawanan dapat digunakan untuk pengeringan kedelai, kopi
  - c. Penukar panas aliran silang dapat digunakan untuk pengeringan kopi, pinang
3. Selisih temperatur fluida panas keluar terhadap temperatur fluida dingin masuk (*Temperatur Different, TD*) untuk ketiga jenis penukar panas aliran searah, berlawanan dan silang masing-masing adalah 65,5°C; 59°C; 32,1°C.
4. Selisih temperatur fluida panas masuk terhadap temperatur fluida dingin keluar (*Terminal Temperatur Different, TD*) untuk ketiga jenis penukar panas aliran searah, berlawanan dan silang masing-masing adalah 70,8°C; 73,6°C; 77,4°C.

Efisiensi temperatur untuk ketiga untuk ketiga jenis penukar panas aliran searah, berlawanan dan silang masing-masing adalah 15,9%; 17,3%; 21,3%.

**REFERENSI**

- [1] Angga Riensyah, dkk. (2013,Nov.) “Pengaruh perbedaan suhu dan waktu pengeringan terhadap karakteristik ikan asin sepat siam”, *Jurnal Fishtech*, 2(1)
- [2] Syukran (2018, Aug.) “Kaji Efisiensi Temperatur Penukar Panas Dengan Variasi Aliran Untuk Aplikasi Pengering”. *Jurnal Polimesin*, 16(2), pp.39-42.
- [3] Arthur P. Fraas, *Heat Exchanger Design*, John Wiley & Sons, United States of America, 1988
- [4] C.M. Vant Land, *Industrial Drying Equipment Selection and Application*, Marcel Dekker, Inc, America, 1991
- [5] Ditjenbun, *Statistik Perkebunan Indonesia*, Direktorat Jenderal Perkebunan Departemen Pertanian, 2006