

STUDI EKSPERIMEN PERFORMANSI *HEAT EXCHANGER* TIPE *SHELL AND TUBE, CROSS-FLOW FOUR PASS, FINNED TUBE* DENGAN VARIASI *MIXED* DAN *UNMIXED* UNTUK MENGERINGKAN SINGKONG

Haidar Ahmad; Sartono Putro

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah
Surakarta

Abstrak

Studi eksperimen performansi *heat exchanger* ini, bertujuan untuk mengetahui pengaruh *volume flow rate* fluida dingin (\dot{v}_c) yaitu 0,023 m³/s; 0,028 m³/s; 0,030 m³/s; 0,032 m³/s; terhadap perubahan temperatur fluida dingin (ΔT_c), nilai kalor yang diterima fluida dingin (q_c), koefisien perpindahan kalor total (U), dan efisiensi *heat exchanger* (η); pada *heat exchanger* variasi *mixed* dan *unmixed* dengan menggunakan *Heat Exchanger Tipe Shell and Tube, Cross-Flow Four Pass, Finned Tube*, dengan Variasi *Mixed* dan *Unmixed*. Blower mendistribusikan udara fluida dingin mengalir ke pipa-pipa (tube) *heat exchanger*. Melakukan pengukuran kecepatan aliran pada blower dan diameter saluran fluida dingin masuk, maka didapatkan nilai *volume flow rate* dengan katub blower tertutup sempurna yaitu 0,023 m³/s, katub terbuka 1/3 yaitu 0,028 m³/s, katub terbuka 2/3 yaitu 0,030 m³/s, dan katub terbuka sempurna yaitu 0,032 m³/s. Fluida dingin tersebut akan menerima kalor dan mengalami kenaikan temperatur akibat perpindahan kalor dari fluida panas yang mengalir pada sisi *shell heat exchanger* yang bersumber dari kompor berbahan bakar gas LPG 3kg. Fluida dingin yang telah mengalami kenaikan temperatur tersebut, kemudian mengalir kedalam *rotary dryer* untuk mengeringkan singkong sebagai beban pengeringan. Dari studi eksperimen performansi *heat exchanger* pada variasi *mixed*, diperoleh hasil bahwa perubahan temperatur fluida dingin menurun meskipun semakin meningkatnya *volume flow rate*, dan untuk nilai kalor yang diterima fluida dingin, koefisien perpindahan kalor total, serta efisiensi *heat exchanger* terus meningkat seiring dengan meningkatnya *volume flow rate*. Pada variasi *unmixed*, diperoleh hasil bahwa untuk perubahan temperatur fluida dingin, nilai kalor yang diterima fluida dingin, dan efisiensi *heat exchanger* mengalami peningkatan hingga titik tertentu seiring dengan meningkatnya *volume flow rate*, kemudian akan menurun meskipun *volume flow rate* terus meningkat, dan koefisien perpindahan kalor total konsisten meningkat seiring dengan meningkatnya *volume flow rate*.

Kata kunci : *heat exchanger, mixed, unmixed, volume flow rate*.

Abstract

This *heat exchanger* performance experimental study aims to determine the effect of the cold fluid volume flow rate, namely 0.023 m³/s; 0.028 m³/s; 0.030 m³/s; 0.032 m³/s; towards on changes in cold fluid temperature, heat value received by cold fluid, total heat transfer coefficient, and *heat exchanger* efficiency; in mixed and unmixed variations of *heat exchangers* using *Shell and Tube Type Heat Exchangers, Cross-Flow Four Pass, Finned Tube*, with *Mixed* and *Unmixed* Variations. The blower distributes cold fluid air flowing into the *heat exchanger* pipes (tubes). Measure the flow velocity on the blower and the diameter of the inlet cold fluid channel, then the *volume flow rate* value obtained with the blower valve completely closed is 0.023 m³/s, the valve is 1/3

open, namely 0.028 m³/s, the valve is 2/3 open, namely 0.030 m³/s, and the valve is perfectly open, namely 0.032 m³/s. The cold fluid will receive heat and experience an increase in temperature due to the transfer of heat from the hot fluid flowing on the side of the heat exchanger shell which comes from a stove fueled by 3kg LPG gas. The cold fluid, which has experienced an increase in temperature, then flows into the rotary dryer to dry the cassava as a drying load. From the experimental study of heat exchanger performance in mixed variations, the results were obtained that changes in temperature of the cold fluid decreased even though the volume flow rate increased, and for the heat value received by the cold fluid, the total heat transfer coefficient, and the efficiency of the heat exchanger; continues to increase along with increasing volume flow rate. In the unmixed variation, the results obtained were that for changes in cold fluid temperature, heat value received by the cold fluid, and heat exchanger efficiency; increases up to a certain point as the volume flow rate increases, then decreases even though the volume flow rate continues to increase, and the total heat transfer coefficient consistently increases as the volume flow rate increases.

Keyword: heat exchanger, mixed, unmixed, volume flow rate.

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Terdapat sebanyak 127 gunung api di Indonesia dan masih berpotensi meletus. Sebagian kalangan menganggap banyak gunung api itu sebagai ancaman. Namun dibalik ancaman tersebut, terdapat keindahan dan berkah yang begitu melimpah. Dengan banyak gunung api, lahan atau tanah perkebunan di Indonesia menjadi subur. Gunung api adalah berkah untuk sejumlah orang yang hidup dalam bidang industri pertanian, material letusan yang dimuntahkan gunung api akan memberikan kesuburan pada tanah atau lahan, hanya saja lahan yang terletak di sekitar gunung api memiliki tanah yang lebih subur dibanding lahan yang berada jauh dari gunung api, menurut Pusat Badan Geologi di Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (2014).

Dikarenakan banyak sejumlah lahan atau tanah subur di Indonesia, negara Indonesia termasuk salah satu negara yang memiliki sektor industri pertanian yang cukup besar, tidak dipungkiri lagi bahwa pertanian sangat mempengaruhi keberlangsungan hidup manusia untuk memenuhi kebutuhan pangan. Untuk menunjang dunia pertanian dan memajukan sektor ekonomi di Indonesia, sejumlah petani dan industri pertanian memanfaatkan ubi-ubian menjadi makanan pengganti nasi maupun makanan-makanan ringan. Terdapat salah satu ubi-ubian tersebut adalah singkong yang juga merupakan tanaman pangan dengan produksi terbesar kedua setelah padi, menurut Badan Pusat Statistik (2015).

Seiring dengan perkembangan teknologi pangan, bukan hanya industri skala besar saja, malah sudah banyak usaha kecil menengah (UKM) juga memanfaatkan bahan singkong

untuk memajukan sektor ekonomi di Indonesia, dengan cara mengolah singkong menjadi beraneka macam bentuk agar menjadi bahan pangan yang lebih praktis dan bertahan lama, serta mendistribusikan ke daerah-daerah ekonomi yang strategis. Terdapatnya kendala pada salah satu proses dari pengolahan singkong tersebut, yaitu proses pengeringan (mengurangi kadar air dari singkong itu sendiri). Pada umumnya proses pengeringan ini dilakukan secara alami dengan cara dijemur yang memanfaatkan panas dari sinar matahari, namun dikarenakan Indonesia merupakan negara yang memiliki iklim tropis atau dua musim yaitu musim kemarau dan musim penghujan, hal ini menjadi kendala yang menyebabkan pengeringan tidak maksimal atau memerlukan waktu cukup lama pada proses pengeringan disaat musim penghujan yang tidak banyak terdapat sinar matahari. Maka dibutuhkannya sebuah mesin pengering tanpa memanfaatkan sinar matahari, mesin yang diharapkan menjadi solusi dari kendala cuaca dan mampu mengoptimalkan pengeringan tersebut.

Usaha Kecil Menengah (UKM) mencari solusi untuk kendala cuaca dan waktu pengeringan, terdapat referensi sebuah mesin pengering dengan memanfaatkan putaran sebagai metode pengeringan (*rotary dryer*). Tetapi mesin tersebut belum menjadi solusi dari kendala waktu dalam proses pengeringan. Jika hanya mengandalkan dari sebuah putaran saja, proses pengeringan tetap memakan waktu yang cukup lama. Maka upaya yang dapat dilakukan dari usaha kecil menengah (UKM) untuk mengoptimalkan solusi dari kendala pengeringan adalah menggunakan mesin pengering dengan oprasional *rotary dryer* yang dikombinasikan dengan sebuah *Heat Exchanger*.

Heat Exchanger merupakan alat penukar kalor (*enthalpy*) antara dua *fluida* atau lebih. Secara umum *Heat Exchanger* adalah alat yang berfungsi untuk mengubah temperatur dan fasa fluid dengan tujuan sebagai alat pemanas atau pendingin. Dalam penelitian-penelitian sebelumnya *Heat Exchanger* mengalami perubahan bentuk dengan tujuan untuk meningkatkan efisiensi sesuai dengan fungsi kerjanya. Pada penelitian yang dilakukan oleh Setiawan (2017) pada *Heat Exchanger Cross Flow Unmixed, Non Finned Tube Four Pass*, diperoleh hasil bahwa perubahan kalor yang diterima *fluida* dingin dipengaruhi oleh *mass flow rate fluida* dingin, semakin besar *mass flow rate fluida* dingin maka perubahan kalor yang diterima *fluida* dingin juga semakin besar.

Dan Arif Suryanto (2017) telah melakukan penelitian mengenai *Heat Exchanger Cross Flow Mixed, Tube Non Finned Four Pass* yang memperoleh hasil semakin besar *mass flow rate fluida* dingin maka semakin kecil kalor yang diterima *fluida* dingin.

Penggunaan *Heat Exchanger* pada industri usaha kecil menengah (UKM) cukup berperan penting dalam proses produksi, dari uraian tersebut, maka penulis ingin melakukan

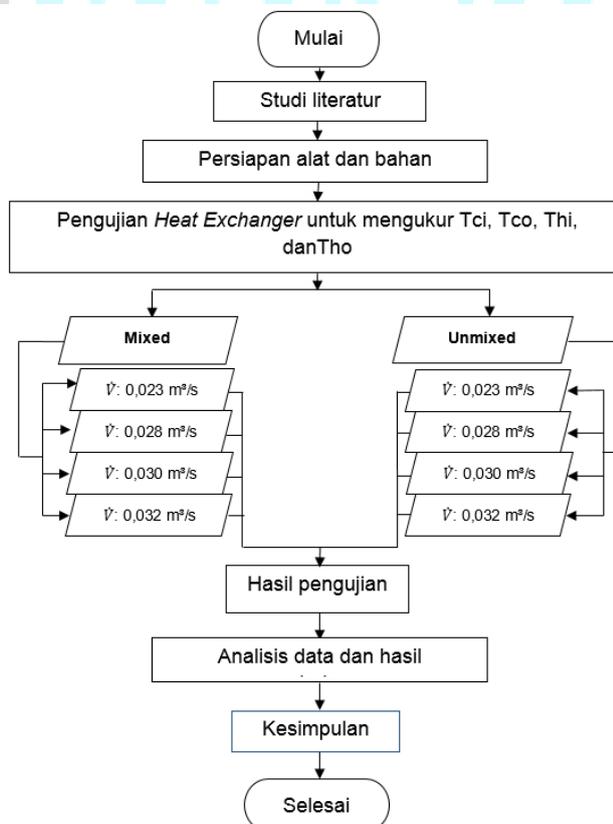
penelitian dan menganalisa *Heat Exchanger Tipe Shell and Tube, Cross-Flow Four Pass, Finned Tube* dengan variasi *Mixed* dan *Unmixed* menggunakan variasi *volume flow rate* fluida dingin $0.023 \text{ m}^3/\text{s}$, $0.028 \text{ m}^3/\text{s}$, $0.030 \text{ m}^3/\text{s}$, $0.032 \text{ m}^3/\text{s}$ untuk mengetahui pengaruh variasi *Mixed* dan *Unmixed* dengan variasi *volume flow rate* yang terbaik terhadap unjuk kerja *heat exchanger*.

2. METODE

2.1 Studi Literatur

Studi literatur ini merupakan suatu langkah yang ditempuh dengan mencari jurnal-jurnal penelitian dan buku-buku yang mengkaji mengenai *heat exchanger*. Hal ini dilakukan dengan tujuan untuk mengenal lebih dalam mengenai pengaruh aliran pada *heat exchanger* tipe *shell and tube, cross-flow mixed and unmixed*. Dengan dilakukan studi literatur, dapat dikenali masalah-masalah yang terjadi pada penelitian-penelitian sebelumnya. Sehingga dapat ditentukan rencana kerja dan metode pengambilan data dalam studi eksperimen yang akan dilakukan.

2.2 Diagram Alir Penelitian

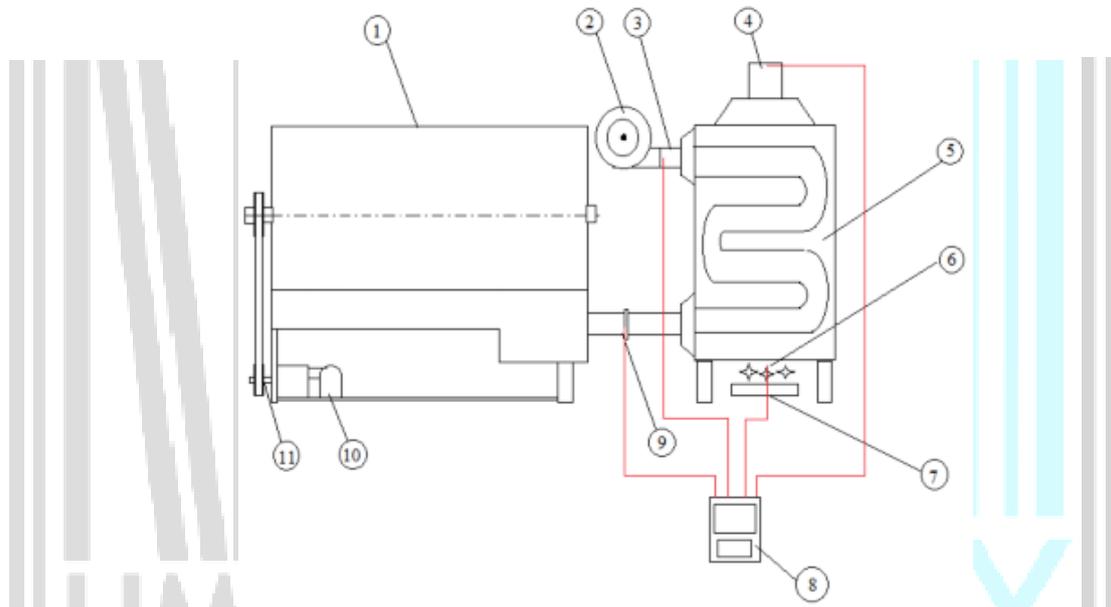


Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

2.3 Alat Pengujian

Tabel 1. Alat-alat yang digunakan dalam pengujian

No.	Alat Pengujian	Fungsi
1.	<i>Heat exchanger</i>	Alat penukar kalor yang akan diuji.
2.	<i>Rotary dryer</i>	Alat untuk mengeringkan singkong.
3.	Blower	Sebagai penyuplai udara dingin.
4.	Kompur	Sebagai sumber udara panas.
5.	Thermocouple	Mengukur temperatur
6.	Anemometer	Mengukur kecepatan aliran udara
7.	Stopwatch	Mengukur waktu saat pengujian
8.	Timbangan	Mengukur massa



Gambar 2 Instalasi Pengujian

Keterangan:

1. *Rotary Dryer*
2. Blower
3. Thermocouple 1 (Tci)
4. Thermocouple 4 (Tho)
5. *Air heater/Heat Exchanger*
6. Thermocouple 3 (Thi)
7. Kompur Gas
8. *Reader Thermocouple Thermoreader*
9. Thermocouple 2 (Tco)
10. Motor listrik
11. Gear reducer

2.4 Langkah Pengujian

Dalam penelitian ini, pengujian *heat exchanger* dilakukan dengan penambahan variasi *mixed* dan *unmixed*. Setiap variasi memiliki masing-masing empat variasi *volume flow rate*, sehingga langkah-langkahnya akan sama dalam pengambilan data per variasi pada 8 kali pengujian. Pengujian dilakukan secara bertahap, untuk yang pertama dilakukan pengujian pada *heat exchanger* variasi *mixed* yang diuji dengan empat variasi *volume flow rate*, mulai dari katub tertutup sempurna, katub terbuka 1/3, katub terbuka 2/3, dan katub terbuka sempurna. Hal yang sama juga dilakukan pada tahap pengujian *heat exchanger* dengan variasi *unmixed*. Dengan demikian langkah-langkah pengujian akan dijabarkan sebagai berikut :

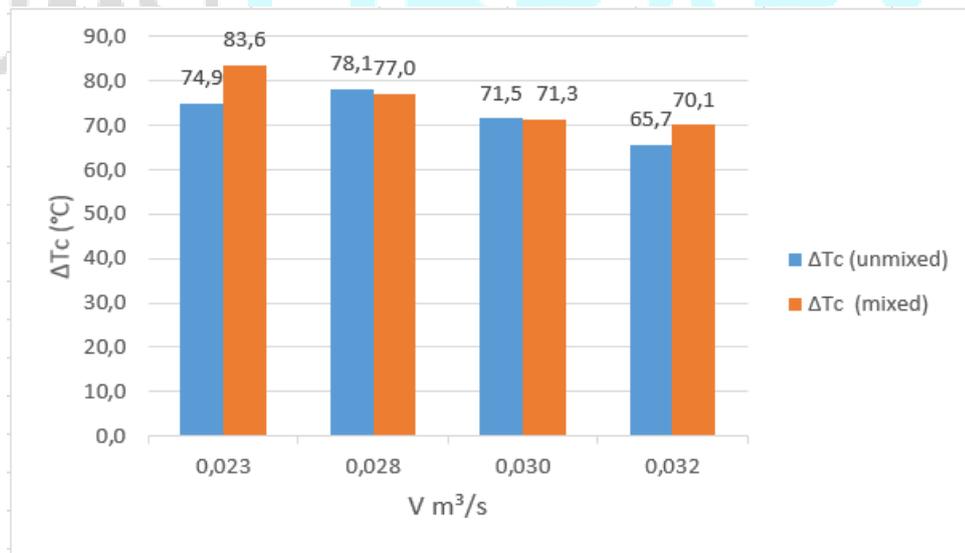
- a. Menyiapkan bahan dan alat, seperti memasang *heat exchanger* dengan *rotary dryer*, memasang LPG dan kompor.
- b. Mengukur kecepatan aliran udara dari blower dengan menggunakan anemometer. Kecepatan aliran udara blower diukur mulai dari katub tertutup sempurna, katub terbuka 1/3, katub terbuka 2/3, hingga katub terbuka sempurna. Kemudian memasang blower pada saluran fluida dingin yang masuk pada *heat exchanger*.
- c. Mengukur putaran pada pully yang memutar *rotary dryer* dengan menggunakan *tachometer*.
- d. Memasang alat ukur seperti *reader thermocouple* dan *thermocouple* pada keempat saluran fluida pada *heat exchanger*.
- e. Melakukan pemanasan awal pada *heat exchanger* sampai temperatur yang ditunjukkan pada alat ukur stabil. Hal ini dilakukan agar pengambilan data pada penelitian dapat memperoleh hasil yang stabil.
- f. Menyiapkan singkong yang akan dikeringkan dengan cara mengupas singkong terlebih dahulu, dan kemudian memotong tipis dan kecil untuk mempermudah pengeringan pada singkong.
- g. Setelah melakukan pemanasan awal, LPG diukur massanya dengan timbangan analog untuk mengetahui perubahan massa dari LPG saat pengujian nanti.
- h. Setelah semua alat siap dan berjalan dengan normal, singkong yang telah dipotong-potong kemudian ditimbang sebanyak 1 kg dengan timbangan digital dan dimasukkan kedalam *rotary dryer*.
- i. Dalam pengujian yang pertama dilakukan pada *heat exchanger* dengan variasi *mixed* dan variasi *volume flow rate* sebesar $0,023 \text{ m}^3/\text{s}$ yaitu dengan kondisi katub blower tertutup sempurna.

- j. Setelah semua alat dan bahan telah siap, maka menyalakan kompor, kemudian menghidupkan blower dan *rotary dryer*. Proses pengeringan berlangsung selama 30 menit pada setiap variasi *volume flow rate*.
- k. Selama mesin beroperasi, temperatur fluida pada *heat exchanger* dicatat setiap 10 menit sekali.
- l. Setelah 30 menit proses pengujian berlangsung, mematikan semua alat seperti blower, *rotary dryer*, dan kompor secara bersamaan.
- m. Kemudian mengukur massa singkong untuk mendapatkan hasil perubahan massa singkong setelah proses pengeringan dan mengukur massa dari LPG.
- n. Melakukan hal yang sama dari poin (e-m) untuk pengujian variasi volume flow rate 0,028 m³/s, 0,030 m³/s, 0,032 m³/s pada variasi *mixed*.
- o. Melakukan hal yang sama dari poin (a-n) untuk pengujian variasi *unmixed*.

Dari hasil pengukuran kecepatan aliran pada blower dan diameter saluran fluida dingin masuk *heat exchanger* maka didapatkan nilai *volume flow rate* dengan katub blower tertutup sempurna yaitu 0,023 m³/s, katub terbuka 1/3 yaitu 0,028 m³/s, katub terbuka 2/3 yaitu 0,030 m³/s, dan katub terbuka sempurna yaitu 0,032 m³/s.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

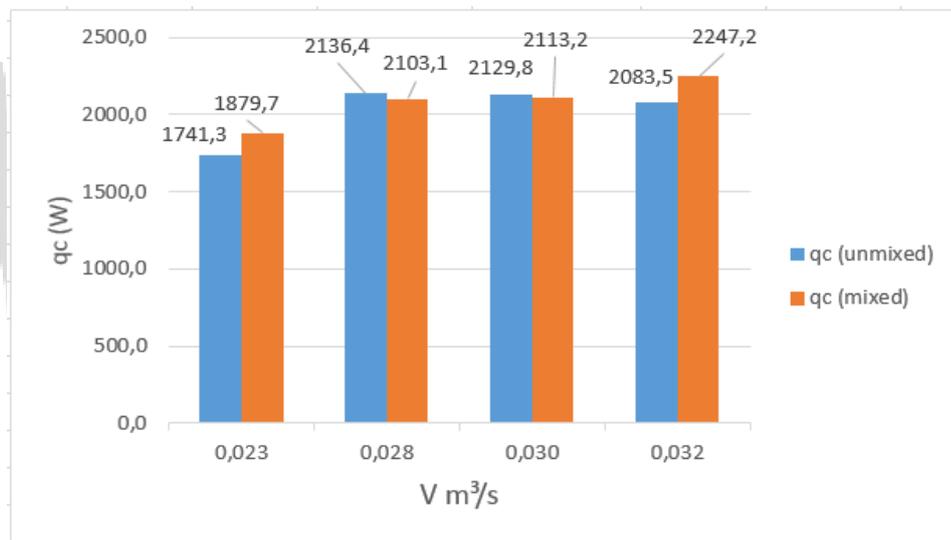
3.1 Pengaruh variasi *volume flow rate* (\dot{v}_c) terhadap perubahan temperatur fluida dingin (ΔT_c) pada *heat exchanger mixed* dan *unmixed*



Gambar 3. Pengaruh variasi *volume flow rate* (\dot{v}_c) terhadap perubahan temperatur fluida dingin (ΔT_c) pada *heat exchanger mixed* dan *unmixed*

Pada *volume flow rate* $0,023 \text{ m}^3/\text{s}$ (katub tertutup sempurna) dan $0,032 \text{ m}^3/\text{s}$ (katub terbuka sempurna) *heat exchanger* variasi *mixed* menunjukkan perubahan temperatur fluida dingin yang lebih tinggi dibandingkan dengan variasi *unmixed*, berbalik pada *volume flow rate* $0,028 \text{ m}^3/\text{s}$ (katub terbuka 1/3) dan *volume flow rate* $0,030 \text{ m}^3/\text{s}$ (katub terbuka 2/3), variasi *unmixed* menunjukkan perubahan lebih tinggi dari variasi *mixed*. Dalam hal ini kedua variasi *heat exchanger* memiliki kesamaan yaitu rata-rata perubahan temperatur fluida dingin menurun seiring meningkatnya *volume flow rate* fluida dingin.

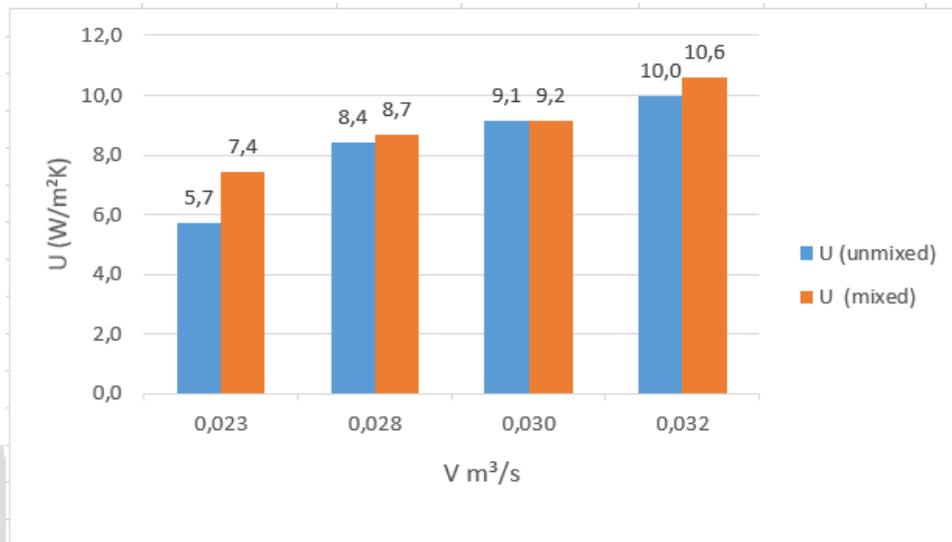
3.2 Pengaruh variasi *volume flow rate* (\dot{v}_c) terhadap nilai kalor yang diterima oleh fluida dingin (\dot{q}_c) pada *heat exchanger mixed* dan *unmixed*.



Gambar 4 Pengaruh variasi *volume flow rate* (\dot{v}_c) terhadap nilai kalor yang diterima oleh fluida dingin (\dot{q}_c) pada *heat exchanger mixed* dan *unmixed*

Pada *heat exchanger* variasi *mixed* menunjukkan perubahan nilai kalor yang diterima oleh fluida dingin mengalami peningkatan seiring meningkatnya *volume flow rate* fluida dingin. Sedangkan pada variasi *unmixed* meskipun *volume flow rate* fluida dingin meningkat, perubahan nilai kalor yang diterima oleh fluida dingin akan mengalami penurunan.

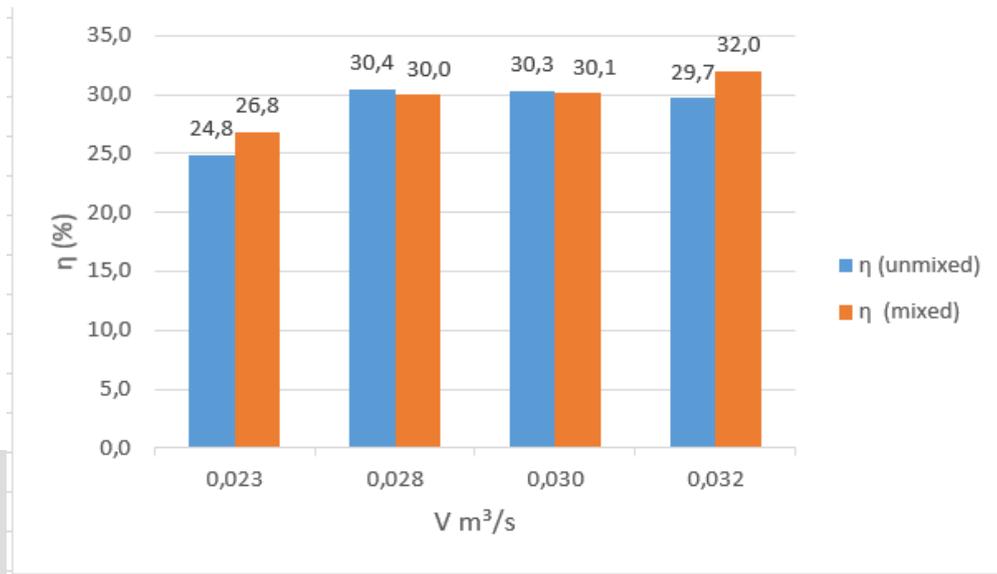
3.3 Pengaruh variasi *volume flow rate* (\dot{v}_c) terhadap koefisien perpindahan kalor total (U) pada *heat exchanger mixed* dan *unmixed*.



Gambar 5 Pengaruh variasi *volume flow rate* (\dot{v}_c) terhadap koefisien perpindahan kalor total (U) pada *heat exchanger mixed* dan *unmixed*

Pada *heat exchanger* dengan variasi *mixed* menunjukkan nilai koefisien perpindahan kalor total tertinggi adalah 10,6 W/m²K dengan *volume flow rate* 0,032 m³/s. Pada *volume flow rate* yang sama (0,032 m³/s), variasi *unmixed* memiliki nilai koefisien perpindahan kalor tertinggi yaitu 10,0 W/m²K. Jika dilihat dari segi *variasi volume flow rate* pada *mixed* dan *unmixed*, dapat diperoleh bahwa nilai koefisien perpindahan kalor total pada variasi *mixed* lebih tinggi daripada variasi *unmixed*, dan menunjukkan perubahan yang konstan yaitu semakin meningkatnya *volume flow rate*, semakin meningkat pula nilai koefisien perpindahan kalor total.

3.4 Pengaruh variasi *volume flow rate* (\dot{v}_c) terhadap efisiensi *heat exchanger* (η) pada *heat exchanger mixed* dan *unmixed*.



Gambar 6 Pengaruh variasi *volume flow rate* (\dot{v}_c) terhadap efisiensi *heat exchanger* (η) pada *heat exchanger mixed* dan *unmixed*

Pada variasi *mixed*, nilai efisiensi kalor yang mampu diserap *heat exchanger* menunjukkan peningkatan seiring dengan meningkatnya *volume flow rate*. Sedangkan pada variasi *unmixed* menunjukkan nilai efisiensi *heat exchanger* akan naik atau meningkat hingga titik tertentu seiring dengan meningkatnya *volume flow rate*, kemudian akan kembali turun terus menurun meskipun *volume flow rate* tetap meningkat.

4. PENUTUP

4.1 Kesimpulan

1. Pengaruh variasi *volume flow rate* (\dot{v}_c) terhadap perubahan temperatur fluida dingin (ΔT_c) pada *heat exchanger mixed* dan *unmixed*. Kedua variasi memiliki kesamaan yaitu rata-rata perubahan temperatur fluida dingin menurun seiring menaiknya *volume flow rate* fluida dingin (\dot{v}_c).
2. Pengaruh variasi *volume flow rate* (\dot{v}_c) terhadap nilai kalor yang diterima oleh fluida dingin (q_c) pada *heat exchanger mixed* dan *unmixed*. Pada variasi *unmixed* terdapat kenaikan nilai kalor yang diterima fluida dingin (q_c) pada satu titik nilai tertentu kemudian mengalami penurunan nilai kalor yang diterima fluida dingin (q_c) meskipun meningkatnya *volume flow rate* fluida dingin (\dot{v}_c). Sedangkan pada variasi

mixed, nilai kalor yang diterima fluida dingin (q_c) konsisten meningkat seiring *volume flow rate* fluida dingin (\dot{v}_c) yang semakin meningkat pula.

3. Pengaruh variasi *volume flow rate* (\dot{v}_c) terhadap koefisien perpindahan kalor total (U) pada *heat exchanger* variasi *mixed* dan *unmixed*. Keduanya memiliki pengaruh yang sama yaitu, semakin meningkatnya *volume flow rate* (\dot{v}_c), semakin meningkat pula nilai koefisien perpindahan kalor total (U). Sehingga dari penelitian ini diperoleh nilai optimum koefisiens perpindahan kalor total (U) sebesar 10,6 W/m²K untuk variasi *mixed* yang lebih tinggi dari variasi *unmixed* sebesar 10,0 W/m²K pada *volume flow rate* (\dot{v}_c) yang sama (0,032 m³/s).
4. Pengaruh variasi *volume flow rate* terhadap efisiensi penyerapan kalor *heat exchanger* (η) pada *heat exchanger* variasi *mixed* dan *unmixed*. Pada variasi *unmixed* menunjukkan nilai efisiensi *heat exchanger* akan naik atau meningkat hingga titik tertentu seiring dengan meningkatnya *volume flow rate*, kemudian akan kembali turun terus menurun meskipun *volume flow rate* tetap meningkat. Sedangkan variasi *mixed*, nilai efisiensi kalor yang mampu diserap *heat exchanger* menunjukkan peningkatan seiring dengan meningkatnya *volume flow rate*.

4.2 Saran

1. Untuk mengetahui pengaruh yang lebih spesifik terhadap hasil pengeringan singkong, maka dalam penelitian selanjutnya dapat diperluas dengan menganalisa proses transfer panas pada *rotary dryer* dengan parameter kadar air pada singkong.
2. Dalam pengujian selanjutnya dapat mengganti bahan pipa pada *heat exchanger* dengan bahan yang memiliki kemampuan penyerapan kalor yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Setiawan, B., (2017). *Rancang Bangun dan Pengujian Heat Exchanger Cross Flow Unmixed, Non Finned Tube Four Pass, Untuk Mengeringkan Empon-empon dengan Variasi Mass Flow Rate*. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Suryanto, A., (2017). *Rancang Bangun dan Pengujian Heat Exchanger Cross Flow Mixed, Tube Non Finned Four Pass, Untuk mengeringkan Empon-empon Dengan Variasi Mass Flow Rate*. Diploma thesis, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Wijanarko, Y., (2017). "Rancang Bangun dan Pengujian Heat Exchanger Cross Flow Mixed, Finned Tube Four Pass, untuk Mengeringkan Empon-Empon dengan Variasi Mass Flow rate". Skripsi. Surakarta : Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Cengel, Yunus A., 2003. *HEAT TRANSFER A Practical Approach* 2nd ed., New York: McGraw-Hill Companies, Inc. All.