

KAJI PRESTASI ALAT PENUKAR PANAS PADA MESIN PENGERING RAK TELUR DENGAN BERBAHAN BAKAR SEKAM PADI

Wahyu H Piarah*, Zuryati Djafar*, Nasruddin Aziz, Syarifuddin Baharsyah

Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin

Jl. Poros Malino Km.6, Bontomarannu, Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan 92171

*E-mail: wahyupiarah@unhas.ac.id; zuryatidjafar@unhas.ac.id;

Abstrak

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui prestasi dari alat penukar kalor yang digunakan, yaitu pengaruh kecepatan aliran udara lingkungan dan kecepatan aliran udara panas terhadap efisiensi alat penukar kalor tersebut. Dalam penelitian ini diberikan 4 variasi kecepatan aliran udara lingkungan (17m/s, 18m/s, 19m/s dan 20m/s) dan 4 variasi kecepatan aliran udara panas (1.6m/s, 1.7m/s, 1.9m/s dan 2.1m/s). Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada kecepatan aliran udara panas konstan dengan 4 variasi kecepatan aliran udara lingkungan diperoleh efektivitas alat penukar kalor sebesar 25,5906% pada kecepatan aliran udara lingkungan 17m/s, 25,5386% untuk kecepatan aliran udara lingkungan 18m/s, 25,6494% untuk kecepatan aliran udara lingkungan 19m/s dan 25,6681% untuk kecepatan aliran udara lingkungan 20 m/s . Dan untuk aliran udara lingkungan konstan dengan 4 variasi kecepatan aliran udara panas diperoleh efektivitas alat penukar kalor sebesar 26,2301% pada kecepatan aliran udara panas 1.6m/s, 26,5350% untuk kecepatan aliran udara panas 1.7m/s, 25,6494% untuk kecepatan aliran udara panas 1.9m/s dan 25,0587 % untuk kecepatan aliran udara panas 2.1 m/s.

Abstract

The purpose of this study was to determine the performance of the heat exchanger used, namely the influence of the velocity of the air flow environment and the speed of hot air flow on the efficiency of the heat exchanger. In this study, there were 4 variations of environmental air flow velocity (17m/s, 18m/s, 19m/s and 20m/s) and 4 variations of hot air flow velocity (1.6m/s, 1.7m/s, 1.9m/s and 2.1m/s). The results showed that at a constant velocity of hot air flow with 4 variations of environmental air flow velocity, the effectiveness of a heat exchanger was 25.5906% at an environmental air flow velocity of 17m/s, 25.5386% for an environmental air flow velocity of 18m/s, 25, 6494% for environmental air flow velocity of 19m/s and 25.6681% for environmental air flow velocity of 20 m/s. And for constant environmental air flow with 4 variations of hot air flow velocity, the effectiveness of heat exchanger is 26,2301% at hot air flow velocity 1.6m/s, 26,5350% for hot air flow velocity 1,7m / s, 25,6494 % for the speed of hot air flow 1.9m/s and 25,0587% for the speed of hot air flow 2.1 m/s.

Keywords: performance, egg tray, heat exchanger, environmental air flow velocity, hot air flow velocity

PENDAHULUAN

Rak telur atau *egg tray* (kemasan telur) merupakan salah satu jenis produk yang dihasilkan dari limbah kertas atau karton. Rak telur saat ini mulai berpeluang menjadi bisnis yang prospektif karena bahan baku yang digunakan mudah diperoleh dan harganya murah. Pembuatan rak telur dari limbah karton melalui beberapa proses, dimulai dengan proses pencampuran bahan baku, proses pencetakan dan proses pengeringan (Liemana, Lestariningsih dan Agustinne, 2017). Salah satu kendala yang dihadapi dalam hal peningkatan produksi disebabkan oleh proses pengeringan, karena masih mengandalkan sinar matahari sebagai sumber energi panas untuk mengeringkan produknya. Sehingga ketergantungan pada kondisi iklim saat pengeringan, menjadikan persoalan tersendiri. Ini mengakibatkan tidak bisa mengoptimalkan kapasitas produksi, karena proses

pengeringan tergantung pada intensitas cahaya matahari dan memerlukan tempat yang sangat luas (Fadli, Alfaizin dan Siswandi, 2015).



Gambar 1. Rak telur limbah kertas

Saat ini kebanyakan industri pembuatan rak telur (Gambar 1) di Indonesia masih mengeringkan produknya dengan cara konvensional yaitu menjemur dengan menggunakan cahaya matahari di lapangan terbuka. Pengeringan dengan cara ini memiliki banyak kerugian diantaranya produk yang dijemur harus dibolak-balik secara manual agar pengeringannya merata, konsumsi waktu pengeringan dan intensitas cahaya matahari yang tidak merata sepanjang hari, produk yang dijemur dapat dengan mudah diterbangkan oleh angin yang berhembus, memerlukan tenaga kerja yang banyak, dan terjadinya perubahan iklim secara tiba-tiba dapat mengganggu proses pengeringan. Hal ini tentunya mempengaruhi tingkat produktivitas sehingga memerlukan biaya operasional yang tinggi (Taib, Said dan Wiraatmadja, 1987). Dari beberapa kekurangan pengeringan konvensional tersebut, diperlukan sebuah alat pengering sebagai upaya untuk menjaga dan meningkatkan kapasitas produksi rak telur yang dihasilkan.

Proses pengeringan menggunakan alat pengering umumnya memerlukan energi yang sangat besar karena menggunakan energi listrik dan bahan bakar fosil. Cara yang dapat dilakukan untuk proses pengeringan dengan biaya murah adalah dengan menggunakan biomassa sebagai sumber energi pengering. Salah satu sumber energi biomassa yang dapat dijadikan energi alternatif adalah sekam padi (Manggala, 2008).

Melihat hal tersebut maka dirancang alat pengering dengan memanfaatkan limbah penggilingan padi (sekam) sebagai energi pengering untuk mengeringkan rak telur. Dimana energi panas yang dihasilkan dari pembakaran sekam mempunyai temperatur yang cukup potensial digunakan sebagai sumber energi panas. Untuk memanfaatkan energi panas yang dihasilkan dari pembakaran sekam tersebut, diperlukan sebuah peralatan yang dapat mentransfer panas dari tungku pembakaran yang masih mengandung energi panas yang kotor menjadi energi panas yang bersih. Perangkat yang dapat melakukan transfer panas ini dinamakan alat penukar kalor (*Heat exchanger*) (Beagle, 1976).

Pengaplikasian alat penukar kalor pada alat pengering memang telah banyak dilakukan, untuk meminimalisir dampak dari hasil pembakaran bahan bakar pada alat pengering baik berupa gas sisa hasil pembakaran ataupun abu yang akan tercampur saat melakukan proses pengeringan (Budiyono, 2017). Dari penelitian terdahulu, telah dilakukan oleh Afuwani L dengan menggunakan alat penukar kalor yang serupa dalam pemanfaatannya sebagai mesin pengering gabah dengan memanfaatkan energi panas dari gas buang mesin diesel. Pada penelitian tersebut diperoleh efektivitas penukar kalor sebesar 18%. Sehingga untuk menunjang alat pengeringan rak telur tersebut maka juga digunakan sebuah alat penukar kalor dengan karakteristik sesuai dengan kebutuhan untuk mengubah energi panas yang dihasilkan dari pembakaran sekam menjadi sumber energi panas untuk memanaskan udara yang dapat digunakan sebagai pengering untuk mengeringkan rak telur. Serta melakukan penelitian untuk mengetahui prestasi dari alat penukar kalor yang digunakan (Afuwani, 2016).

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui prestasi alat penukar kalor yang digunakan, yakni pengaruh kecepatan aliran udara lingkungan dan kecepatan aliran udara panas terhadap efisiensi alat penukar kalor tersebut.

- **Metode Pengeringan**

Terdapat 2 metode dalam pengeringan rak telur yang telah digunakan selama ini (Kurniasih, 2013), yaitu:

- a. **Pengeringan Alami**

Penjemuran rak telur pada lantai jemur adalah cara pengeringan secara alami yang praktis, murah, sederhana dan umum digunakan oleh para produsen rak telur. Energi untuk penguapan diperoleh dari angin dan sinar matahari. Cara penjemuran rak telur dihindarkan di lantai jemur dengan rapih agar mudah dibolak balik dan dikumpulkan pada saat sudah kering. Penjemuran sebaiknya dilakukan ditempat yang bebas menerima sinar matahari. Penjemuran sebaiknya dilakukan pada pukul 07.00-16.00 atau tergantung pada intensitas panas sinar matahari.

- b. **Pengeringan Buatan**

Pengeringan buatan adalah metode pengeringan dengan menggunakan bantuan alat pengering. Pengeringan buatan mempunyai kelebihan dibanding pengering alami yaitu waktu penjemuran yang lebih singkat dan rak telur yang dikeringkan lebih bersih dan terlindung dari debu, hujan dan lain-lain. Pengeringan buatan bermacam-macam yaitu dengan menggunakan oven listrik atau dengan menggunakan oven tungku yang berbahan bakar arang (tempurung kelapa, cangkang sawit, dll), batu bara dan kayu, serta dengan menggunakan oven yang dipasangi ban berjalan (Kurniasih, 2013).

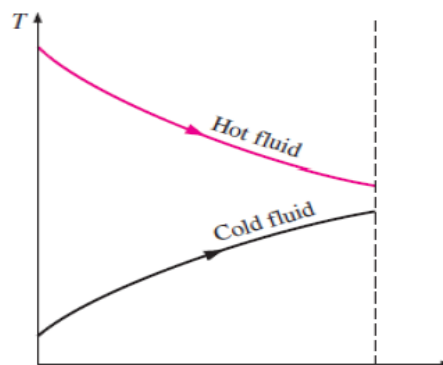
- **Alat Penukar Kalor**

Alat penukar kalor (*heat exchanger*) merupakan sebuah alat yang berfungsi untuk menurunkan dan atau meningkatkan temperatur sebuah sistem dengan memanfaatkan suatu media pendingin atau pemanas sehingga kalor dapat berpindah dari temperatur tinggi ke temperatur rendah. Tujuan dari alat penukar kalor tersebut adalah untuk mengontrol suatu sistem (temperatur) dengan menambahkan atau menghilangkan energi termal dari suatu fluida ke fluida lainnya (Cengel dan Y. A, 2003).

Terdapat dua aliran penukaran panas yaitu penukaran panas dengan aliran searah (*co-current*) dan penukaran panas dengan aliran berlawanan arah (*counter-current*) (Cengel dan Y. A, 2003).

- a. **Aliran Co-current**

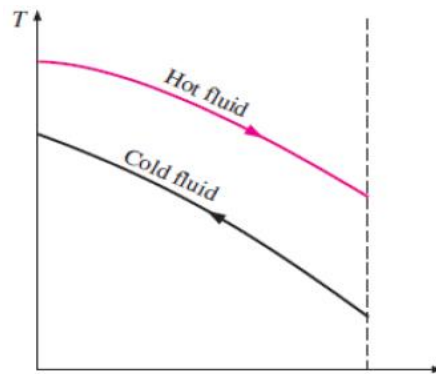
Penukaran panas jenis ini, kedua fluida (dingin dan panas) masuk pada sisi penukar yang sama, mengalir dengan arah yang sama dan keluar pada sisi yang sama pula.



Gambar 2. Profil temperatur aliran Co-current (Cengel dan Y. A, 2003)

- b. **Aliran Counter-current**

Penukar panas jenis ini, kedua fluida (panas dan dingin) masuk dan keluar pada sisi yang berlawanan. Temperatur fluida dingin yang keluar dari penukar panas lebih tinggi dibandingkan temperatur fluida panas yang keluar dari penukar kalor, sehingga dianggap lebih baik dari aliran searah.

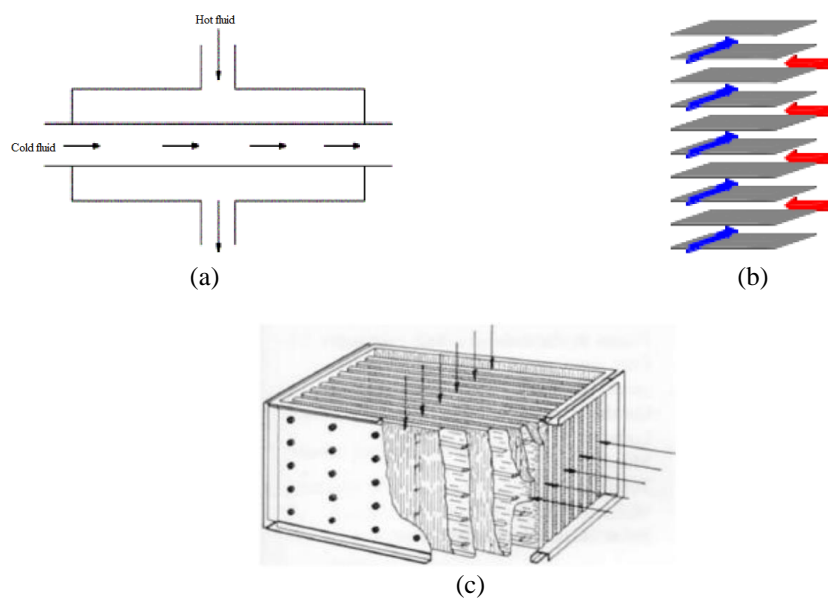


Gambar 3. Profil temperatur aliran *counter-current* (Cengel dan Y. A, 2003)

- **Alat Penukar Kalor yang akan digunakan**

- a. **Pemilihan jenis penukar kalor**

Jenis penukar kalor yang kompak dan efisien untuk menyerap energi panas hasil pembakaran sekam disesuaikan dengan kondisi di mana penukar kalor tersebut akan dipasang. Dalam hal ini pengeringan rak telur akan dipasang dalam ruangan yang cukup luas jadi ukuran penukar kalor disesuaikan dengan karakteristik udara pengering yang dibutuhkan.



Gambar 4. Skema alat penukar kalor tipe Plat aliran silang, a). Arah aliran, b). Susunan plat, c) Kontruksi rangkaian susunan plat-plat (Kays dan London, 1998)

Beberapa keunggulan dari alat penukar kalor jenis “pelat datar aliran bersilang (*Cross Flow plate fin heat exchanger*) antara lain; (Kays dan London, 1998).

1. Mempunyai permukaan perpindahan panas yang cukup besar.
2. Mempunyai efektivitas yang cukup tinggi.
3. Mudah untuk membuatnya.
4. Dimensinya relatif kecil.
5. Sangat sesuai digunakan untuk fluida gas pada kedua sisinya.

Plate-fin heat exchanger adalah jenis penukar kalor yang menggunakan pelat dan ruang bersirip untuk mentransfer panas antara fluida. Kontruksi alat penukar kalor tipe ini disusun dari plat-plat yang tipis, yang secara skema telah digambarkan seperti dalam Gambar 3. Adapun karakteristik alat penukar kalor tersebut sebagai berikut:

- Karakteristik permukaan *Plate-fin* 2.0 (Kays dan London, 1998).
- Standar dari tabel karakteristik penukar kalor plat *fin*. (Lampiran 1).
- Jarak antara pelat (b) : 1.905 cm
- Diameter hidrolis (4rh) : 1.445 cm
- Ketebalan *fin* (δ) : 0.08 cm
- Panjang *fin* : 30.5 cm
- Area Perpindahan panas/volume antara pelat (β) : 249.672 m²/m³
- Area *fin*/total area : 0.606
- Tebal plat antara udara lingkungan dan udara pans (a) : 0,0024
- Konduktivitas termal aluminium plat : 150 W/m °C

b. Fluida kerja

- Fluida panas : Udara panas, diperoleh dari hasil pembakaran sekam didalam tungku.
- Fluida dingin : Udara lingkungan, diperleh dari udara sekitar yang disalurkan ke unit penukar kalor melalui *blower*.

c. Luas perpindahan panas total

Luas perpindahan panas total diketahui setelah terlebih dahulu menghitung nilai perbandingan luas perpindahan panas total dari satu sisi penukar kalor terhadap volume total penukar kalor untuk permukaan plat fin (Marshelina dan Ichsan, 2012).

$$\alpha = \frac{b \times \beta}{b1 + b2 + 2a} \tag{1}$$

Luas perpindahan panas total penukar kalor dapat diketahui melalui dengan persamaan;
 Luas Perpindahan Panas Total untuk Satu Sisi APK (Marshelina dan Ichsan, 2012).

$$A = \alpha \times V \tag{2}$$

Dimana :

- A = Luas perpindahan panas total (m²)
- A = Perbandingan luas perpindahan panas total dari satu sisi penukar kalor terhadap volume total penukar kalor (m²/ m³)
- a = Tebal plat antara fluida panas dan fluida dingin (m)
- b1 = Jarak antara plat seksi udara (m)
- b2 = Jarak antara plat seksi udara panas hasil pembakaran sekam (m)
- β = Perbandingan luas perpindahan panas satu seksi dengan volume antara pelat pada seksi tersebut.

d. Bilangan Nusselt

Persamaan untuk mengitung bilangan Nusselt:

$$\begin{aligned} Nu_{up} &= 0,023 Re_{up}^{4/5} Pr^{0,3} \\ Nu_{ul} &= 0,023 Re_{ul}^{4/5} Pr^{0,4} \end{aligned} \tag{3}$$

Dimana :

Nu = Bilangan Nusselt

Koefisien perpindahan panas (h) dapat dihitung berdasarkan persamaan (Marshelina dan Ichsan, 2012):

$$h = \frac{Nu, k}{D_h} \tag{4}$$

e. Efektivitas Fin

Parameter Efektif fin (Marshelina dan Ichsan, 2012)

$$m = \sqrt{\frac{2 \cdot h}{k \cdot \delta}} \quad (5)$$

$$ml = m \frac{b}{2} \quad (6)$$

Persamaan untuk menghitung efektivitas fin adalah

$$\eta_f = \frac{\tanh ml}{ml} \quad (7)$$

Dimana :

- η_f = efisiensi fin
- δ = tebal sirip (m)
- l = panjang sirip (m)
- b = jarak plat (m)
- m = parameter efektivitas sirip (m^{-1})
- k = konduktivitas termal sirip (w/m/K)

f. Efektivitas permukaan

Efektivitas permukaan terhadap sisi aliran fluida dihitung dengan persamaan (Marshelina dan Ichsan, 2012):

$$\eta_o = 1 - \frac{A_{fr}}{A} (1 - \eta_f) \quad (8)$$

Dimana :

- A_{fr} = Luas total sirip (m^2)
- A = Luas total bidang yang mengalami konveksi (m^2)
- η_o = Efektivitas efisiensi overall

g. Koefisien perpindahan panas total (Marshelina dan Ichsan, 2012):

$$\frac{1}{U_{ud}} = \frac{1}{\eta_{o,up} h_{up}} + \frac{1}{(A_{up} / A_{ul}) \eta_{o,ul} h_{ul}} \quad (9)$$

Di mana:

- U = Koefisien perpindahan panas total

h. Jumlah unit perpindahan panas (NTU)

NTU diketahui dengan terlebih dahulu menghitung nilai *capacity rate* (kapasitas Panas) (Marshelina dan Ichsan, 2012):

$$C = \dot{m} c_p \quad (10)$$

Dimana :

- \dot{m} = laju aliran massa fluida kerja (kg/jam)
- C = *Capacity rate* ($kW/^\circ C$)
- c_p = panas jenis fluida ($kJ/kg \ ^\circ C$)

Kemudian NTU (*Number of Transfer Unit*) (Marshelina dan Ichsan, 2012) dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$NTU = \frac{U \times A}{C_{\min}} \quad (11)$$

Dimana :

C_{min} = nilai C terkecil antara udara panas dan udara lingkungan

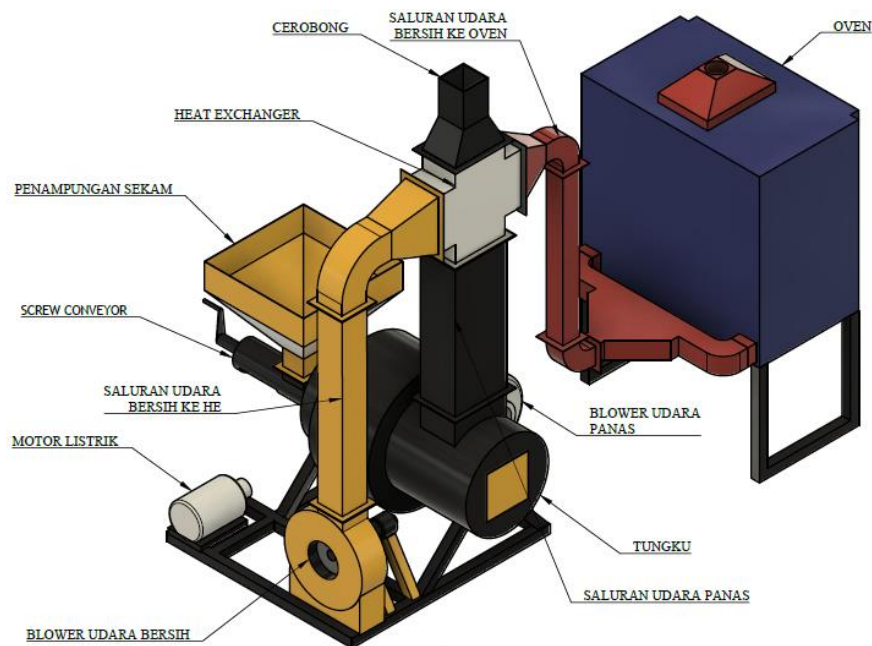
i. Efektivitas penukar kalor

Efektivitas penukar kalor dapat diketahui dengan menggunakan persamaan (Marshelina dan Ichsan, 2012):

$$\varepsilon = 1 - \exp \left[\left(\frac{1}{C_r} \right) (NTU)^{0.22} \left\{ \exp \left[-C_r (NTU)^{0.78} \right] - 1 \right\} \right] \quad (12)$$

METODE PENELITIAN

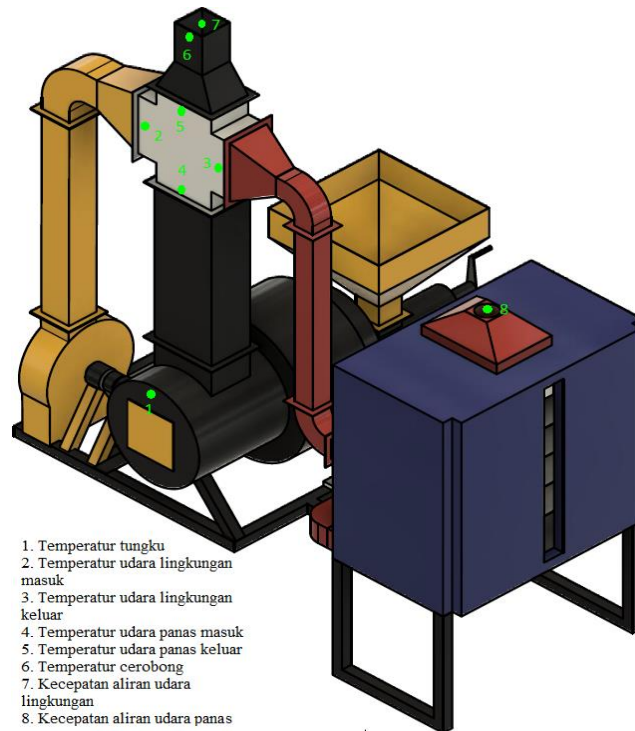
Pada penelitian ini Alat penukar kalor merupakan bagian dari sebuah rancangbangun sistem pengeringan seperti pada gambar instalasi penelitian (lihat Gambar 9). Khusus untuk penelitian ini dilakukan dengan mengumpulkan data temperatur api (T_a), temperatur udara lingkungan masuk ($T_{ul\ in}$), temperatur udara lingkungan keluar ($T_{ul\ out}$), temperatur udara panas masuk ($T_{up\ in}$), temperatur udara panas keluar ($T_{up\ out}$) dan temperatur cerobong (T_c) dari setiap variasi kecepatan aliran udara lingkungan (v_{ul}) dan variasi kecepatan aliran udara panas (v_{up}). Data tersebut dijadikan acuan untuk mengetahui efektivitas dari penukar panas yang digunakan dalam proses pengeringan rak telur. Dalam pengujian digunakan alat penukar kalor *plate-fin 2.0* aliran bersilang sebagai media pertukaran kalor dari udara panas pembakaran sekam yang mengandung udara kotor ke udara lingkungan yang siap disalurkan ke dalam oven pengering.



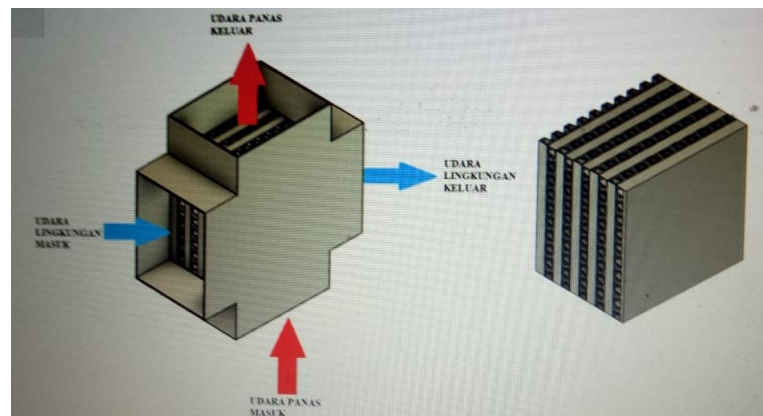
Gambar 5. Instalasi penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran yang akan dilakukan adalah pengukuran temperatur dengan menggunakan *Thermocouple* dan pengukuran kecepatan aliran udara dengan menggunakan *anemometer*. Untuk pengukuran temperatur, *thermocouple* dipasang disetiap saluran masuk dan saluran keluar udara pada alat penukar kalor yaitu pada bagian saluran masuk dan keluar udara panas, saluran masuk dan keluar saluran udara lingkungan, dan pada cerobong. Sedangkan untuk mengukur kecepatan aliran udara yang akan diukur yaitu kecepatan aliran udara lingkungan dan kecepatan aliran udara panas, *anemometer* yang digunakan dipasang pada saluran keluar udara lingkungan dan saluran keluar udara panas (Gambar 6 dan 7).



Gambar 6. Penempatan titik pengukuran



Gambar 7. Alat penukar kalor dengan arah aliran udara panas dan udara lingkungan yang masuk dan keluar pada alat penukar kalor (*heat exchanger*)

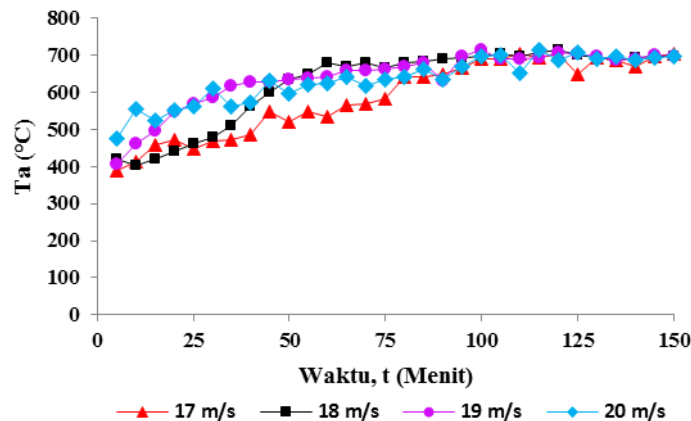
• **Kecepatan Aliran Udara Panas Pada 4 Variasi Kecepatan Aliran Udara Lingkungan**

Dari percobaan yang telah dilakukan dengan 4 variasi kecepatan aliran udara panas yaitu 1.6m/s, 1.7m/s, 1.9m/s dan 2.1m/s. Diperoleh data bahwa temperatur optimal terjadi pada percobaan dengan kecepatan aliran udara panas 1,9m/s. Sehingga data pada percobaan kecepatan aliran udara panas konstan 1,9 m/s dengan 4 variasi kecepatan aliran udara lingkungan yaitu 17m/s, 18m/s, 19m/s dan 20m/s dijadikan acuan untuk menghitung efektivitas alat penukar kalor. Data temperatur yang diperoleh dari percobaan kecepatan aliran udara panas konstan pada 4 variasi kecepatan aliran udara lingkungan dapat dilihat dari grafik di bawah;

a. **Temperatur Api**

Dalam Gambar 8 berikut dapat dilihat sejarah temperatur api pada percobaan kecepatan aliran udara panas konstan dengan 4 variasi kecepatan aliran udara lingkungan yaitu 17m/s, 18m/s, 19m/s dan 20m/s. Pada kecepatan aliran udara lingkungan 17m/s dapat dilihat bahwa temperatur api mengalami perubahan tiap menitnya. Dimana rata-rata temperatur api mengalami kenaikan namun pada menit tertentu juga terjadi

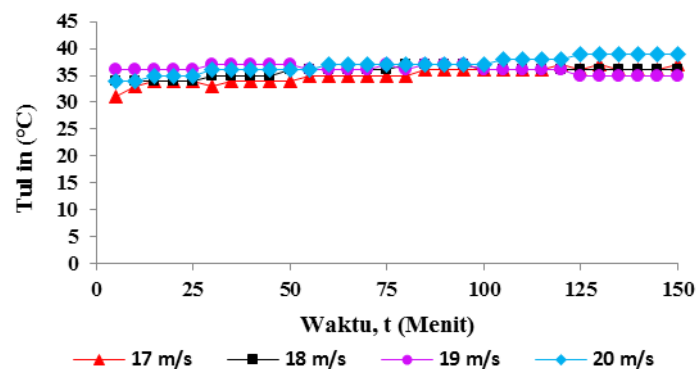
penurunan. Terjadinya kenaikan temperatur api ini disebabkan karena proses pembakaran yang semakin lama akan optimal sehingga api yang dihasilkan akan semakin besar.



Gambar 8. Sejarah Temperatur api (Ta) pada kecepatan aliran udara panas konstan dengan 4 variasi kecepatan aliran udara lingkungan

Sedangkan terjadinya penurunan temperatur api disebabkan karena terlambatnya abu dari sisa-sisa pembakaran keluar dari tungku sehingga mengganggu proses pembakaran pada menit tertentu. Sedangkan untuk kecepatan aliran udara lingkungan 18m/s, 19m/s dan 20m/s juga mengalami perubahan setiap waktunya seperti halnya pada kecepatan aliran udara lingkungan 17m/s.

b. Temperatur Udara Lingkungan Masuk



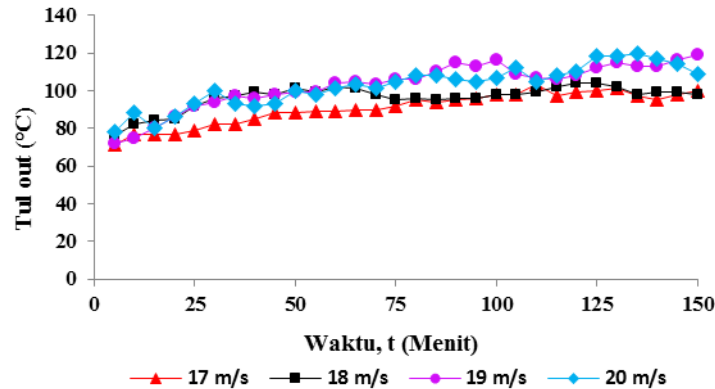
Gambar 9. Sejarah Temperatur Lingkungan Masuk (Tl in) pada kecepatan aliran udara panas konstan dengan 4 variasi kecepatan aliran udara lingkungan

Pada Gambar 9 dapat dilihat sejarah temperatur udara lingkungan masuk pada percobaan kecepatan aliran udara panas konstan dengan 4 variasi kecepatan aliran udara lingkungan yaitu 17m/s, 18m/s, 19m/s dan 20m/s. Pada kecepatan aliran udara lingkungan 17m/s dapat dilihat bahwa temperatur udara lingkungan masuk mengalami perubahan setiap menitnya. Perubahan yang terjadi disebabkan oleh pengaruh udara panas di dalam alat penukar kalor, dimana pada saat temperatur didalam alat penukar kalor naik maka temperatur udara lingkungan masuk juga akan naik dan begitupun sebaliknya, namun perubahan temperatur yang terjadi tidak begitu besar.

Sedangkan untuk kecepatan aliran udara lingkungan 18m/s, 19m/s juga mengalami kenaikan dan penurunan setiap waktunya. Dan pada kecepatan aliran udara lingkungan 20m/s temperatur udara masuk hanya mengalami kenaikan setiap waktunya.

c. Temperatur Udara Lingkungan Keluar

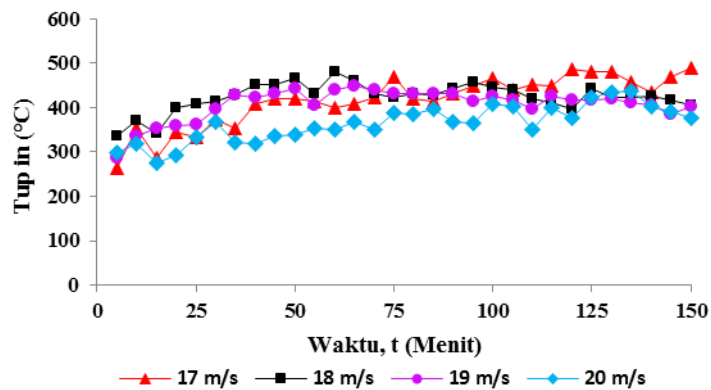
Pada Gambar 10 dapat dilihat sejarah temperatur udara lingkungan keluar pada percobaan kecepatan aliran udara panas konstan dengan 4 variasi kecepatan aliran udara lingkungan yaitu 17m/s, 18m/s, 19m/s dan 20m/s. Pada kecepatan aliran udara lingkungan 17m/s dapat dilihat bahwa temperatur udara lingkungan keluar mengalami perubahan tiap menitnya. Dimana rata-rata temperatur api mengalami kenaikan namun pada menit tertentu juga terjadi penurunan.



Gambar 10. Sejarah Temperatur Lingkungan Keluar (Tl out) pada Kecepatan Aliran Udara Panas Konstan dengan 4 Variasi Kecepatan Aliran Udara Lingkungan

Terjadinya perubahan temperatur udara lingkungan keluar dipengaruhi oleh temperatur udara panas yang masuk kedalam alat penukar kalor, semakin tinggi temperatur udara panas yang masuk maka temperatur udara lingkungan keluar juga akan tinggi, dan jika terjadi penurunan temperatur udara panas masuk maka temperatur udara lingkungan keluar juga akan turun. Sedangkan untuk kecepatan aliran udara lingkungan 18m/s, 19m/s dan 20m/s juga mengalami perubahan setiap waktunya seperti halnya pada kecepatan aliran udara lingkungan 17m/s.

d. Temperatur Udara Panas Masuk



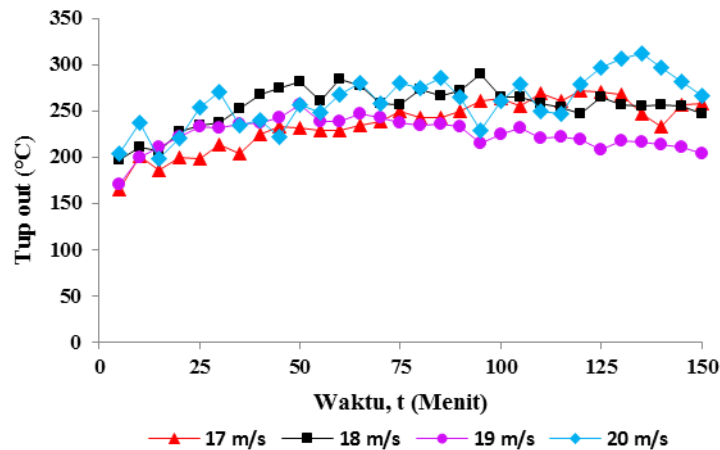
Gambar 11. Sejarah Temperatur Udara Panas Masuk (Tup in) pada kecepatan aliran udara panas konstan dengan 4 variasi kecepatan aliran udara lingkungan

Pada Gambar 11 dapat dilihat sejarah temperatur udara panas masuk pada percobaan kecepatan aliran udara panas konstan dengan 4 variasi kecepatan aliran udara lingkungan yaitu 17m/s, 18m/s, 19m/s dan 20m/s. Pada kecepatan aliran udara lingkungan 17m/s dapat dilihat bahwa temperatur udara panas masuk mengalami perubahan tiap menitnya. Dimana rata-rata temperatur udara panas masuk mengalami kenaikan namun pada menit tertentu juga terjadi penurunan. Terjadinya perubahan temperatur udara panas masuk dipengaruhi oleh temperatur api hasil pembakaran sekam. Dimana semakin tinggi temperatur api maka temperatur udara panas yang masuk juga akan semakin tinggi, dan jika terjadi penurunan temperatur api maka temperatur udara panas masuk juga akan turun. Sedangkan untuk kecepatan aliran udara lingkungan

18m/s, 19m/s dan 20m/s juga mengalami perubahan setiap waktunya seperti halnya pada kecepatan aliran udara lingkungan 17m/s.

e. Temperatur Udara Panas Keluar

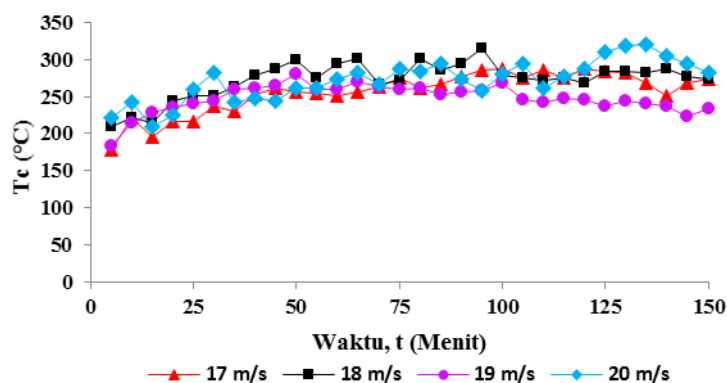
Pada Gambar 12 juga dapat dilihat sejarah temperatur udara panas keluar pada percobaan kecepatan aliran udara panas konstan dengan 4 variasi kecepatan aliran udara lingkungan yaitu 17m/s, 18m/s, 19m/s dan 20m/s. Pada kecepatan aliran udara lingkungan 17m/s dapat dilihat bahwa temperatur udara panas keluar mengalami perubahan tiap menitnya. Dimana rata-rata temperatur udara panas masuk mengalami kenaikan namun pada menit tertentu juga terjadi penurunan.



Gambar 12. Sejarah Temperatur Udara Panas Keluar (Tup out) pada kecepatan aliran udara panas konstan dengan 4 variasi kecepatan aliran udara lingkungan

Terjadinya perubahan temperatur udara panas keluar dipengaruhi oleh temperatur udara panas masuk. Dimana semakin tinggi temperatur udara panas masuk maka temperatur udara panas yang keluar juga akan semakin tinggi, dan begitupun sebaliknya. Sedangkan untuk kecepatan aliran udara lingkungan 18m/s, 19m/s dan 20m/s juga mengalami perubahan setiap waktunya seperti halnya pada kecepatan aliran udara lingkungan 17m/s.

f. Temperatur Cerobong

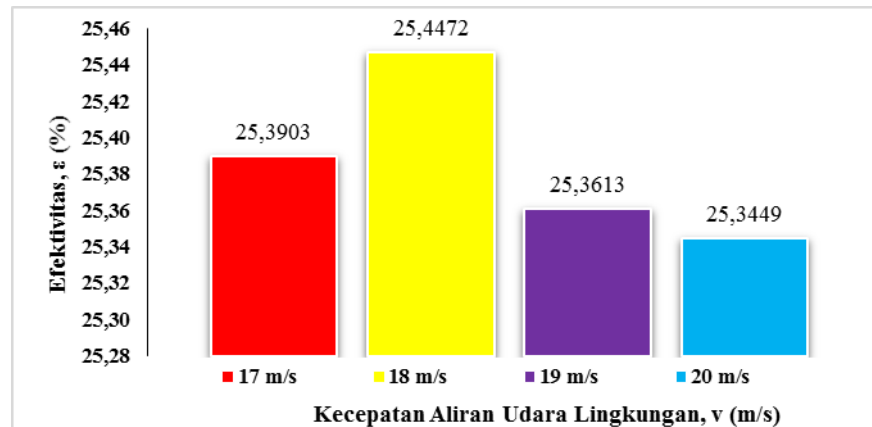


Gambar 13. Sejarah Temperatur Cerobong (Tc) pada kecepatan aliran udara panas konstan dengan 4 variasi kecepatan aliran udara lingkungan

Pada Gambar 13 di atas dapat dilihat sejarah temperatur cerobong pada percobaan kecepatan aliran udara panas konstan dengan 4 variasi kecepatan aliran udara lingkungan yaitu 17m/s, 18m/s, 19m/s dan 20m/s. Pada kecepatan aliran udara lingkungan 17m/s dapat dilihat bahwa temperatur cerobong mengalami perubahan tiap menitnya. Dimana rata-rata temperatur udara cerobong mengalami kenaikan namun pada

menit tertentu juga terjadi penurunan. Terjadinya perubahan temperatur cerobong dipengaruhi oleh temperatur udara panas masuk dan keluar. Dimana semakin tinggi temperatur udara panas masuk dan keluar maka temperatur cerobong juga akan semakin tinggi, dan begitupun sebaliknya. Sedangkan untuk kecepatan aliran udara lingkungan 18m/s, 19m/s dan 20m/s juga mengalami perubahan setiap waktunya seperti halnya pada kecepatan aliran udara lingkungan 17m/s.

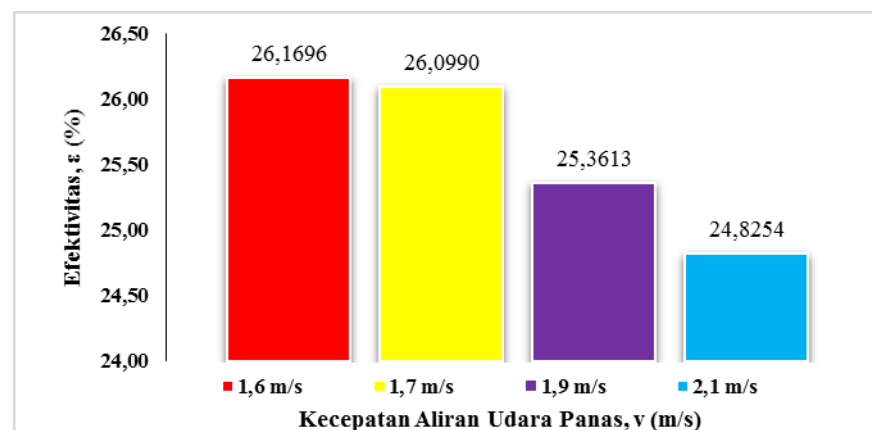
g. Kecepatan Aliran Udara Udara Panas Konstan dengan 4 Variasi Kecepatan Aliran Udara Lingkungan



Gambar 14. Efektivitas alat penukar kalor pada percobaan kecepatan aliran udara udara panas konstan dengan 4 variasi kecepatan aliran udara lingkungan

Pada Diagram batang (Gambar 14) di atas dapat dilihat perbandingan efektivitas alat penukar kalor tiap variasi kecepatan aliran udara lingkungan dengan kecepatan aliran udara panas konstan. Pada kecepatan aliran udara lingkungan 17m/s diperoleh efektivitas alat penukar kalor sebesar 35,96%, untuk kecepatan aliran udara lingkungan 18m/s diperoleh efektivitas alat penukar kalor sebesar 35,89%, untuk kecepatan aliran udara lingkungan 19m/s diperoleh efektivitas alat penukar kalor sebesar 36,03%, dan kecepatan aliran udara lingkungan 20m/s diperoleh efektivitas alat penukar kalor sebesar 36,06%.

h. Kecepatan Aliran Udara Lingkungan Konstan dengan 4 Variasi Kecepatan Aliran Udara Panas



Gambar 15. Efektivitas alat penukar kalor pada percobaan kecepatan aliran udara lingkungan konstan dengan 4 variasi kecepatan aliran udara panas

Pada diagram batang (Gambar 15) di atas dapat dilihat perbandingan efektivitas alat penukar kalor tiap variasi kecepatan aliran udara panas dengan kecepatan aliran udara lingkungan konstan. Pada kecepatan aliran udara panas 1.6m/s diperoleh efektivitas alat penukar kalor sebesar 36,78%, untuk kecepatan aliran udara panas 1.7m/s diperoleh efektivitas alat penukar kalor sebesar 37,17%, untuk kecepatan aliran udara

panas 1.9m/s diperoleh efektivitas alat penukar kalor sebesar 36,04%, dan untuk kecepatan aliran udara panas 2.1m/s diperoleh efektivitas alat penukar kalor sebesar 35,27%

SIMPULAN

Berdasarkan dari hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan pada penelitian prestasi alat penukar kalor pada mesin pengering rak telur dengan tungku bebahan bakar sekam padi, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari analisis perhitungan yang telah dilakukan pada percobaan kecepatan aliran udara panas konstan dengan 4 variasi kecepatan aliran udara lingkungan diperoleh efektivitas alat penukar kalor sebesar 35,96 % pada kecepatan aliran udara lingkungan 17 m/s, 35,89 % untuk kecepatan aliran udara lingkungan 18 m/s, 36,03 % untuk kecepatan aliran udara lingkungan 19 m/s dan 36,06 % untuk kecepatan aliran udara lingkungan 20 m/s.
2. Dari analisis perhitungan yang telah dilakukan pada percobaan kecepatan aliran udara lingkungan konstan dengan 4 variasi kecepatan aliran udara panas diperoleh efektivitas alat penukar kalor sebesar 36,78 % pada kecepatan aliran udara panas 1.6 m/s, 37.17 % untuk kecepatan aliran udara panas 1.7 m/s, 36,04 % untuk kecepatan aliran udara panas 1.9 m/s dan 35,27 % untuk kecepatan aliran udara panas 2.1 m/s.

DAFTAR PUSTAKA

- H. A. Liemana, D. Lestariningsih dan L. Agustinne. 2017. *Sistem Pengering Tempat Telur Karton yang Ada Diatas Troli Secara Otomatis*. Widya Teknik. vol. 6, no. 2, pp. 152-162.
- M. I. Fadli, M. H. Alfaizin dan Siswandi. 2015. *Perancangan Alat Teknologi Tepat Guna Mesin Oven Pengering*. Jurnal Teknik Mesin. vol. 4.
- G. Taib, G. Said dan S. Wiraatmadja. 1987. *Operasi Pengeringan pada Pengolahan Hasil Pertanian*, Jakarta: Mediatama Sarana Perkasa.
- L. K. Manggala. 2008. *Perancangan Pengering Gabah Menggunakan Pemanas Udara dari Tungku Sekam*. Metropilar, vol. 6, pp. 10-15.
- E. C. Beagle. 1976. *Rice Husk Conversion to Energy*. Italy: Rome.
- Budiyono. 2017. *Optimasi Alat Penukar Kalor Dengan Pemanfaatan Gas Buang Pembakaran Ketel Uap Untuk Pengeringan Pakaian*. Surya Teknika. vol. 1, no. 1.
- M. Afuwan L. 2016. *Analisis Uji Prestasi Pemanfaatan Gas Buang Mesin Diesel Untuk Pengeringan Gabah*. Universitas Hasanuddin, Makassar.
- P. Kurniasih. 2013. "Kelayakan Usaha Pembuatan Produk Kemasan Telur dari Kertas Limbah di Sumatra Barat". Penelitian Sosial dan Ekonomi Kehutanan. vol. 10, no. 3, pp. 152-172.
- Cengel dan Y. A. 2003. *Heat Transfer A Practical Approach*. Second Edition, Singapura: Mc. Graw- Hill Book.
- W. M. Kays dan A. L. London. 1998. *Compact Heat exchanger*, Third Edition, Krieger Pob Co.
- N. S. Marshelina dan D. Ichsan. 2012. *Desain Compact Heat exchanger Tipe Plat Fin Sebagai Pendingin Motor pada Boiler Feed Pump*. Jurnal Teknik Pomits, vol. 1, p. 2.