

ALAT PENUKAR KALOR UNTUK MESIN PENGERING *RDF*

La Ode Mohammad Firman, I Gede Lesmana
Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik
Universitas Pancasila, Jakarta
E-mail: mtmpancasila@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini memiliki tujuan melakukan analisis, rancang bangun dan pengujian *APK* plat datar yang akan digunakan pada mesin pengering *RDF*. Berdasarkan hasil analisis dan uji coba alat pengering surya yang telah dilakukan oleh Daud Heru bahwa temperatur udara yang dibutuhkan untuk mengeringkan *RDF* yang berada dalam ruang pengering adalah 60°C, sedangkan pemanfaatan energi surya saja sebagai sumber energi pengeringan, menghasilkan temperatur udara pengering di bawah 60 °C. Oleh karena itu dibutuhkan energi panas tambahan dari pembakaran bahan bakar batu bara yang mampu meningkatkan temperatur udara dalam ruang pengering. Peningkatan temperatur udara dalam ruang pengering ini membutuhkan energi panas yang keluar alat penukar kalor plat datar sebesar $q_{APK} = 23.3$ kJ/s dan hasil yang diperoleh melalui pengujian memperlihatkan bahwa temperatur udara rata-rata dalam ruang pengering sebesar $T_{rg} = 59.6$ °C. Sedangkan jenis alat penukar kalor yang digunakan adalah alat penukar kalor plat datar yang memiliki panjang 40 cm, lebar 60 cm, tinggi 30 cm yang terbuat dari material aluminium dengan ketebalan plat masing-masing sebesar 1 mm. Tungku bahan bakar diletakkan dibawah alat penukar kalor dan dilengkapi dengan peralatan manual yang dapat menaikkan dan menurunkan letak bahan bakar sehingga temperatur yang bervariasi dalam ruang pengering selama percobaan berlangsung dapat diperkecil.

Kata kunci: Analisis, Rancang bangun, Pengujian, *APK* plat datar

Abstract

The purpose of this study is to analyze, design and test flat plate *APKs* that will be used on the *RDF* dryer. Based on the results of the analysis and testing of solar dryers that have been carried out by Daud Heru about the air temperature needed to dry *RDF* in accordance with the drying chamber is 60°C, while the use of solar energy is only for energy sources, resulting in the temperature of the drying air below 60°C. Therefore, additional heat energy is needed for coal fuel which is able to increase the temperature of the air in the drying chamber. Increase in indoor air temperature Charging heat energy coming out of the flat plate heat exchanger is $q_{APK} = 23.3$ kJ / s and the results obtained through testing produce an average air temperature in the drying chamber of $T_{rg} = 59.6$ °C. While the type of heat exchanger used is a flat plate heat exchanger which has a length of 40 cm, width 60 cm, height 30 cm made of aluminum with a plate thickness of 1 mm each. The fuel furnace is placed under the heat exchanger and is equipped with manual equipment that can lift and lower the location of the fuel so that the varied temperatures in the drying chamber during the experiment can be enlarged.

Keywords : Analysis, Design, Experiment Test, *APK*

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Proses rancang bangun alat penukar kalor (*APK*) atau *heat exchanger* (*HE*) yang akan digunakan pada mesin pengering perlu memperhatikan mekanisme perpindahan panas yang terjadi pada *APK*. Analisis perpindahan panas perlu dilakukan sebelum membuat suatu *APK* dimana proses perpindahan panas, dimensi maupun jumlah laluan pada

APK merupakan komponen yang penting. Untuk lebih memahami tentang perubahan temperatur udara, laju perpindahan panas dan efektivitas pada suatu *APK* yang akan digunakan pada mesin pengering maka perlu dilakukan suatu penelitian di laboratorium. Sebaiknya bahan bakar yang digunakan untuk meningkatkan temperatur udara dalam ruang pengering adalah bahan bakar yang ada hubungannya dengan energi terbarukan (*Renewable energy*) yakni *Refuse Derived Fuel* (*RDF*). Bahan bakar *RDF* ini masih memiliki kelembaban

yang relatif tinggi sehingga perlu dikeringkan melalui mesin pengering. *RDF* yang telah dikeringkan diletakkan di dalam ruang bakar dan dapat digunakan sebagai bahan bakar sedangkan *RDF* yang masih memiliki kelembaban yang relatif tinggi diletakkan di dalam ruang pengering dan akan dikeringkan dengan menggunakan udara panas yang keluar dari *APK*. Temperatur udara yang dibutuhkan untuk mengeringkan *RDF* yang berada dalam ruang pengering adalah 60 °C (Daud heru, 2018). *APK* merupakan komponen penting pada suatu mesin pengering dan manfaatnya dapat meningkatkan temperatur udara sesuai dengan temperatur yang dibutuhkan oleh *RDF* yang berada dalam ruang pengering. Untuk mendapatkan besarnya efektivitas *APK* serta besarnya temperatur udara dan laju perpindahan panas pada *APK* maka perlu dilakukan suatu penelitian berupa rancang bangun dan analisis serta pengujian *APK* di Laboratorium. Hal ini perlu dilakukan agar besarnya temperatur udara dan laju perpindahan panas yang keluar *APK* dapat diperoleh sesuai dengan temperatur yang dibutuhkan oleh *RDF* yang ada di dalam ruang pengering. Tujuan penelitian ini adalah melakukan rancang bangun dan melakukan analisis efektivitas *APK* plat datar yang akan digunakan pada mesin pengering *RDF* ramah lingkungan, melakukan analisis temperatur dan laju perpindahan panas sehingga temperatur udara dalam ruang pengering mencapai 60 °C, dan melakukan pengujian *APK* plat datar.

II. METODE PENELITIAN

2.1 Waktu dan Tempat Percobaan

Analisis dan tempat pengujian alat penukar kalor serta tungku bahan bakar dan dilakukan di Laboratorium Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, Jakarta. Tempat pembuatan serta pengujian *APK* telah dilaksanakan pada tahun 2019 di

Laboratorium Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, Jakarta, Indonesia.

2.2 Alat Ukur dan Bahan

Penelitian ini menggunakan alat penukar kalor plat datar dan tungku pembakaran yang terbuat dari bahan aluminium. Bentuk tungku pembakaran bahan bakar batubara disesuaikan dengan bentuk alat penukar kalor plat datar yang digunakan, sedangkan dimensi tungku pembakaran disesuaikan dengan jumlah bahan bakar yang akan digunakan, sebagaimana Gambar berikut.



Gambar 1 Alat penukar kalor dan tungku pembakaran

2.3 Pengujian

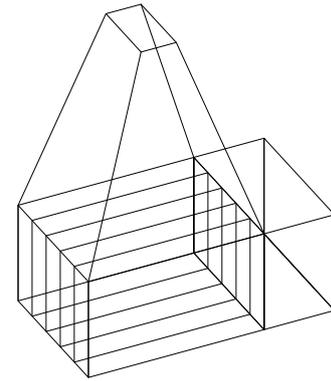
Sebelum dilakukan suatu percobaan, terlebih dahulu diadakan analisis perpindahan panas dan seleksi material dari alat penukar kalor yang akan digunakan dalam percobaan. Analisis energi panas didasarkan pada besarnya temperatur maupun jumlah energi panas yang akan dihasilkan alat penukar kalor guna memenuhi kebutuhan ruang pengering, sedangkan seleksi material didasarkan pada penggunaan material yang berbentuk plat dengan ketebalan 1 mm, ketersediaan material dipasaran dan nilai konduktifitas thermal dari material tersebut. Setelah hasil analisis perpindahan panas diketahui dan seleksi material yang dibutuhkan tersedia maka dilakukan pembuatan alat untuk percobaan pengering.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pendekatan LMTD (Log mean temperature difference) pada analisis perpindahan panas alat penukar kalor berguna bila suhu masuk dan suhu keluar diketahui atau dapat ditentukan dengan mudah sehingga LMTD dapat dengan mudah dihitung, dan aliran panas pada permukaan serta koefisien perpindahan panas menyeluruh dapat ditentukan. Bila suhu masuk atau suhu keluar belum diketahui maka analisis akan melibatkan prosedur iterasi karena LMTD itu suatu fungsi logaritme. Dalam hal demikian, analisis akan lebih mudah dilaksanakan dengan menggunakan metode yang berdasarkan atas efektivitas dari alat penukar kalor dalam memindahkan sejumlah panas tertentu, dimana besarnya nilai efektivitas alat penukar kalor (heat exchanger effectiveness) didefinisikan sebagai perbandingan perpindahan panas nyata terhadap perpindahan panas maksimum yang mungkin atau sebagaimana persamaan berikut:

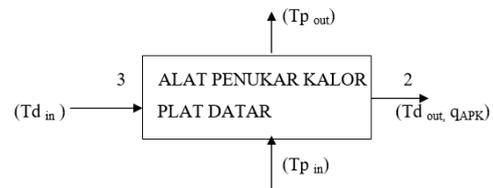
$$\text{efektivitas} = \varepsilon = \frac{\text{perpindahan kalor nyata}}{\text{perpindahan kalor maksimum yang mungkin}}$$

Perpindahan panas maksimum didapat bila salah satu fluida mengalami perubahan suhu yang maksimum dan fluida yang mungkin mengalami beda suhu maksimum adalah fluida yang mempunyai kapasitas panas terkecil. Efektivitas dari alat penukar kalor dipengaruhi oleh berbagai macam faktor diantaranya fluida kerja yang menjadi fluida kerja pendingin. Jenis alat penukar kalor yang digunakan pada penelitian ini adalah alat penukar kalor jenis plat datar, dimana masing-masing fluida kerja tak bercampur (unmixed) melintas melalui alat penukar kalor, sebagaimana Gambar berikut:



Gambar 2 Alat penukar kalor plat datar

Laju perpindahan panasnya secara umum bergantung kepada sifat-sifat fluida kerja, dimensi serta tingkat keadaan aliran fluida yang melewati permukaan alat penukar kalor tersebut. Laju perpindahan panas dari sebuah alat penukar kalor plat datar yang terletak tegak lurus terhadap suatu aliran udara dapat dievaluasi melalui Gambar berikut:



Gambar 3 Temperatur sebelum dan setelah alat penukar kalor

Selisih temperatur udara sebelum dan sesudah alat penukar kalor, yakni:

$$\Delta Td = Td_{out} - Td_{in} =$$

$$\frac{\{\rho_v \dot{A}_v V_v (h_v) + UA(T_{rg} - T_l)\} - I A \tau \alpha - \rho_l A_l V_l (h_l)}{m \quad cp}$$

Jadi besarnya temperatur yang keluar dari alat penukar kalor, Td_{out} adalah:

$$Td_{out} = Td_{in} + \frac{\rho_v \dot{A}_v V_v(h_v) + UA(T_{rg} - T_l) - IA \tau \alpha - \rho_l A V_l(h_l)}{m \cdot cp}$$

$$Td_{out} = \frac{(qv + qd) - qn - m_l \cdot cp_l \cdot T_l}{m_d \cdot cp_d} + Td_{in}$$

Bagian-bagian alat penukar kalor plat datar terdiri dari plat aluminium yang di susun secara selang seling antara plat untuk aliran udara dari lingkungan, dengan plat untuk aliran gas dari hasil pembakaran, dimana plat untuk aliran udara dari lingkungan dipasang secara horisontal, sedangkan plat untuk aliran gas pembakaran dipasang secara vertikal.

Gas hasil pembakaran bahan bakar batubara mengalir dengan kecepatan V_p (m/s) dan temperatur, Tp_{in} ($^{\circ}C$) dan tekanannya 1 (atm). Dengan adanya perbedaan temperatur antara gas hasil pembakaran batubara dengan udara lingkungan yang sedang mengalir kedalam alat penukar kalor mengakibatkan terjadinya perpindahan panas pada alat penukar kalor plat datar tersebut. Untuk melakukan analisis perpindahan panas pada alat penukar kalor plat datar seperti halnya persoalan teknik lainnya maka beberapa asumsi diperlukan sebagai pendekatan sebagaimana beberapa hal berikut:

1. Plat aluminium pada alat penukar kalor tersebut dapat dianggap sebagai sebuah selinder yang di isolasi oleh aliran gas, dengan mekanisme konveksi paksa sebagai suatu proses dominan.
2. Tingkat turbulensi pada aliran utama dianggap kecil sehingga tidak mempengaruhi laju perpindahan panas. dengan adanya asumsi diatas maka laju perpindahan panas dan temperatur udara yang akan masuk kedalam ruang pengering dapat dihitung sebagaimana persamaan berikut:

Luas permukaan panas seluruh laluan, adalah:

$A_{tot} = [(L_d \cdot L_p) + (L_d \cdot L_p)]$
 npTemperatur kedua fluida bervariasi sepanjang saluran dan bila temperatur keluar dari kedua fluida tidak di ketahui maka harus di taksir besarnya temperatur rata-rata fluida dingin, yakni:

$$T_{ud} = \left(\frac{Td_{in} + Td_{out}}{2} \right)$$

maupun besarnya temperatur rata-rata fluida panas, yakni:

$$T_{up} = \left(\frac{Tp_{in} + Tp_{out}}{2} \right)$$

Hal ini perlu dilakukan untuk mengetahui besarnya masa jenis, konduktivitas thermal, kalor spesifik, viskositas dinamik dan bilangan prandtl dari masing-masing fluida yang sedang mengalir melalui alat penukar kalor.



Gambar 4 Alat penukar kalor plat datar diletakkan di atas tungku pembakaran pada mesin pengering RDF

Bilangan Reynold (Re) untuk masing-masing fluida adalah :

$$\begin{aligned} Re_d &= \frac{(m d_{tot} / A d_{tot}) D H d}{\mu} \\ &= \frac{(m d_{tot} / A d_{tot}) 4 P L}{K \mu} \\ Re_p &= \frac{(m p_{tot} / A p_{tot}) D_{Hp}}{\mu} \\ &= \frac{(m p_{tot} / A p_{tot}) 4 P L}{K \mu} \end{aligned}$$

Koefisien perpindahan panas konveksi rata-rata dari kedua fluida, adalah :

Untuk udara dingin,

$$hd = \left[(0.023) \left(\frac{kd}{D_{Hd}} \right) (Re^{0.8} Pr^{0.33}) \right] \left[1 + \left(\frac{D_{Hd}}{Ld} \right)^{0.7} \right]$$

Untuk udara panas,

$$hp = \left[(0.023) \left(\frac{kp}{D_{Hp}} \right) (Re^{0.8} Pr^{0.33}) \right] \left[1 + \left(\frac{D_{Hp}}{Lp} \right)^{0.7} \right]$$

Koefisien perpindahan panas keseluruhan dari APK, adalah :

$$\begin{aligned} UA &= \frac{1}{\frac{1}{hd} + \frac{1}{A_{tot} hp}} \\ NTU &= \frac{UA}{C_{min}} = \frac{UA}{m p cp} \end{aligned}$$

Perbandingan kapasitas panas perjam, adalah:

$$\frac{C_{panas}}{C_{dingin}} = \frac{m p cp}{m d cd}$$

Bentuk aliran yang digunakan pada alat penukar kalor plat datar ini adalah aliran silang dimana kedua fluidanya tak

campur, fluida yang satu merupakan aliran udara yang diperoleh langsung dari lingkungan, sedangkan fluida yang lain merupakan aliran gas dari pembakaran bahan bakar batubara yang berada dalam tungku pembakaran. Besarnya temperatur yang keluar alat penukar kalor (T_{dout}) dapat pula ditulis sebagaimana persamaan berikut:

$$T_{dout} = T_{din} + \frac{Cp}{Cd} (\varepsilon) (\Delta T_{max.})$$

maka diperoleh besarnya keseimbangan energi adalah:

$$\begin{aligned} T_{din} + \frac{Cp}{Cd} (\varepsilon) (\Delta T_{max.}) &= T_{din} + \\ \frac{\rho_v \dot{A}_v V_v (h_v) + UA(T_{rg} - T_l) - I A \tau \alpha - m_l cp_l T_l}{m_d cp_d} \end{aligned}$$

atau:

$$\frac{Cp}{Cd} (\varepsilon) (\Delta T_{max.}) = \frac{\rho_v \dot{A}_v V_v (h_v) + UA(T_{rg} - T_l) - I A \tau \alpha - m_l cp_l T_l}{m_d cp_d}$$

Efektifitas alat penukar kalor secara analisis (ε_a) adalah:

$$\begin{aligned} \varepsilon_a &= \frac{\rho_v \dot{A}_v V_v (h_v) + UA(T_{rg} - T_l) - I A \tau \alpha - m_l cp_l T_l}{\left(\frac{Cp}{Cd} \right) (\Delta T_{max.}) (m_d cp_d)} \\ &= \frac{\rho_v \dot{A}_v V_v (h_v) + UA(T_{rg} - T_l) - I A \tau \alpha - m_l cp_l T_l}{m_p cp_p \Delta T_{max.}} \end{aligned}$$

Efektifitas alat penukar kalor secara pengujian (ε_p) adalah:

$$\varepsilon_p = \frac{m_d c_{p_d} \Delta T_d}{\left(\frac{m_p c_{p_p}}{m_d c_{p_d}}\right) (\Delta T_{\max}) (m_d c_{p_d})} = \frac{m_d c_{p_d} \Delta T_d}{m_p c_{p_p} \Delta T_{\max}}$$

IV. KESIMPULAN

Hasil yang diperoleh pada penelitian ini dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Besarnya efektivitas analisis maupun efektivitas percobaan adalah $\epsilon_a = 38.6\%$ dan $\epsilon_p = 34.5\%$;
2. Material alat penukar kalor aluminium dengan jumlah laluan gas panas dari tungku pembakaran sebanyak 11 laluan dan udara dari lingkungan adalah 12 laluan. Panjang $P = 40$ cm, lebar $L = 60$ cm dan tinggi $T = 30$ cm;
3. Temperatur udara dalam ruang pengering diharapkan sebesar, $T_{rg} = 60$ °C maka besarnya temperatur yang keluar alat penukar kalor menuju ruang pengering pada saat temperautr lingkungan $T_l = 28$ °C adalah $T_{d\ out} = 83.3$ °C, sedangkan laju perpindahan panas pada alat penukar kalor tersebut sebesar $q_{APK} = 23.3$ kJ/s.

Daftar Pustaka

- Daud Heru, "The effect of vibration toward charcoal briquette drying rate on tray dryer", Seminar Nasional Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Proceeding Semnas Mesin, ISSN 2085-2762, Jakarta, 2018.
- Holman JP. 1989. Heat Transfer. McGraw Hill, New York.
- Iynkaran K. 1993. Basic Thermodynamics. Singapore.
- Koestoer RA. 2002. Perpindahan Kalor. Salemba teknika, Jakarta.
- Kreith F. 1998. Principle Of Heat Transfer. Erlangga, Jakarta.
- Stoecker WF. 1989. Design of Thermal Systems. McGraw-Hill Ltd.