

Efektivitas-NTU dan Koefisien Perpindahan Panas Keseluruhan Alat Penukar Panas Barisan Pipa tanpa Sirip Susunan Staggered dan Aligned Orientasi untuk Pengeringan

Made Ricki Murti¹⁾, I Nengah Suarnadwipa²⁾,

^{1), 2)} Program Studi Teknik Mesin FT Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Badung Bali

Naskah diterima 31 07 2022; direvisi 19 06 2023; disetujui 21 06 2023

doi: <https://doi.org/10.24843/JEM.2023.v16.i01.p03>

Abstrak

Penelitian ini telah mendesain sebuah penukar panas pipa tubular tanpa sirip yang berorientasi untuk aplikasi pengeringan. Barisan pipa-pipa dengan susunan staggered dan aligned, dengan mengalirkan dua fluida kerja adalah gas buang hasil pembakaran LPG dan udara sebagai fluida pengeringan. Pertukaran panas terjadi dari gas buang LPG sebagai fluida panas menuju udara yang mengalir adalah fluida dingin sebagai penerima panas. Gas buang diproduksi dengan membakar LPG di ruang bakar dan mengalir melalui bagian dalam pipa sementara udara mengalir di permukaan luar pipa tanpa sirip. Variasi dilakukan pada laju aliran massa konsumsi bahan bakar yang mengalir ke ruang bakar dan laju aliran massa udara pada permukaan luar pipa. Data yang diambil meliputi: temperatur sisi masuk dan sisi keluar udara di bagian luar permukaan pipa penukar panas, temperature sisi masuk dan sisi keluar gas buang di bagian dalam pipa penukar panas, kecepatan aliran udara, kecepatan aliran gas buang, dan laju aliran massa konsumsi bahan bakar. Kinerja yang dianalisis meliputi: efektivitas penukar panas, NTU, dan koefisien perpindahan panas keseluruhan. Dari hasil dapat disimpulkan bahwa secara rata-rata nilai performansi barisan pipa-pipa susunan staggered lebih tinggi dari pada barisan pipa-pipa susunan aligned. Pada variasi laju aliran massa konsumsi bahan bakar yang mengalir pada permukaan bagian dalam barisan pipa menghasilkan nilai efektivitas maksimum sebesar 89,18% untuk susunan staggered dan 86,26% untuk susunan aligned, yang terjadi pada laju aliran 0,033gram/s, nilai NTU maksimum sebesar 2,11 untuk susunan staggered dan 1,99 untuk susunan aligned, yang terjadi pada laju aliran massa 0,027gram/s, dan nilai koefisien perpindahan panas keseluruhan maksimum sebesar 27,56 W/m².K untuk susunan staggered dan 25,99 W/m².K untuk susunan aligned, yang terjadi pada laju aliran massa 0,04gram/s. Pada variasi laju aliran massa udara yang mengalir pada permukaan luar barisan pipa, maka susunan staggered menghasilkan nilai efektivitas maksimum sebesar 95,4%, nilai NTU maksimum sebesar 2,37, dan nilai koefisien perpindahan panas keseluruhan maksimum sebesar 28,16 W/m².K dan semua nilai-nilai tersebut terjadi pada laju aliran massa udara 0,028 kg/s.

Kata kunci: alat penukar panas, barisan pipa tanpa sirip, efektivitas-NTU, koefisien perpindahan panas keseluruhan, susunan pipa-pipa staggered dan aligned

Abstract

This study has designed an unfinned tubular pipes heat exchanger that oriented for drying applications. Pipes bank with staggered and aligned arrangement by flowing two working fluids are the flue gas from LPG combustion and air as drying fluid. Heat exchange occurs from the flue gas of LPG as a hot fluid to the air flowing is cold fluid as heat receiver. Flue gas is produced by burning LPG in the combustion chamber and flowing through the inside of the pipes, while air flows on the outside surface of unfinned pipes. Variations are made on the mass flow rate of fuel consumption flowing into the combustion chamber and the air mass flow rate on the outer surface of pipes. Data taken are includes: air inlet and outlet temperatures at outside surface of heat exchanger pipes, flue gas inlet and outlet temperatures inside surface of heat exchanger pipes, air flow velocity, flue gas flow velocity, and mass flow rate of fuel consumption. The performance that analyzed are includes: Heat Exchanger effectiveness, NTU, and overall heat transfer coefficient. From the results can be concluded that the average of performance values on staggered pipes bank arrangement is higher than aligned pipes bank arrangement. On the variation of the mass flow rate of fuel consumption that flow at the inner surface of the rows of pipes, it produces the maximum effectiveness value of 89.18% for the staggered arrangement and 86.26% for the aligned arrangement, that occurs at the mass flow rate of 0.033gram/s, the maximum NTU value of 2.11 for the staggered arrangement and 1.99 for the aligned arrangement, that occurs at mass flow rate of 0.027gram/s, and the maximum overall heat transfer coefficient of 27.56 W/m².K for the staggered arrangement and 25, 99 W/m².K for the aligned arrangement, that occurs at the mass flow rate of 0.04gram/s. On variation of the air mass flow rate that flows at outer surface of the rows of pipes, the staggered arrangement produces the maximum effectiveness value of 95.4%, the maximum NTU value of 2.37, and the maximum overall heat transfer coefficient value of 28.16 W/m².K and all of them occurs at the air mass flow rate of 0.028 kg/s.

Keywords: heat exchanger, unfinned tubular bank, effectiveness-NTU, overall heat transfer coefficient, staggered and aligned tubes arrangement.

1. Pendahuluan

Penukar panas merupakan sebuah alat yang berfungsi untuk memindahkan panas dari fluida bertemperatur lebih tinggi ke fluida bertemperatur lebih rendah. Secara umum unit ini banyak dijumpai pemakaiannya dalam industri besar, industri sedang maupun industri kecil, gedung, perkantoran, kegiatan komersil maupun dalam skala rumah tangga. Kapasitas alat penukar panas dapat diklasifikasikan mulai dari kecil, menengah dan besar. Jenis atau tipe dari alat penukar panas tergantung pada fluida kerja yang digunakan dan kapasitas perpindahan panas. Jenis alat penukar panas yang ada antara lain concentric tube, shell and tube, finned tubular, dan unfinned tubular. Jenis alat perpindahan panas unfinned tubular merupakan sebuah alat penukar panas yang tersusun dari barisan pipa tanpa sirip. Jenis ini memiliki bentuk yang sederhana, kapasitasnya menengah ke bawah, paling mudah dalam pabrikasinya dan fluida kerjanya dari gas ke gas dan dari liquid ke gas atau sebaliknya. Susunan pipa diklasifikasikan menjadi dua yaitu susunan sebaris (*aligned*) dan selang-seling (*staggered*). Performansi sebuah alat penukar panas dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya adalah jenis fluida kerja, kecepatan aliran fluida atau laju aliran massa fluida, temperatur fluida, susunan pipa, material alat penukar panas, tipe alat penukar panas, faktor pengotoran (*fouling factor*) dan faktor-faktor lainnya.

Aplikasi penukar panas dapat diterapkan pada sistem pengeringan. Terdapat berbagai tipe system pengeringan dan berbagai sumber energi yang digunakan dan berbagai komponen pembantu yang digunakan. Berdasarkan kontak dengan media, sistem pengering dapat dibedakan menjadi dua yaitu direct (kontak langsung udara pengering dengan media) dan indirect (tidak kontak antara udara pengering dengan media).

Penelitian sebelumnya yang telah meneliti pengeringan rumput laut menggunakan radiasi matahari langsung dan cabinet dryer menyatakan bahwa dengan cabinet dryer waktu pengeringan lebih cepat pada batas minimum SNI yang ditetapkan [1]. Hasil penelitian yang lain, yang menggunakan energi yang berbeda yaitu menggunakan kayu bakar dan kerosin untuk pengering kakao diperoleh bahwa kerosin lebih efektif, biaya ekonomis kayu bakar lebih murah, waktu pengeringan lebih cepat [2]. Penggunaan sumber energi bahan bakar LPG untuk pengering pakain tipe tunnel dryer menghasilkan efisiensi tertinggi pada laju konsumsi bahan bakar terendah dan diperoleh laju pengeringan rata-rata 0,6 gram/sec [3].

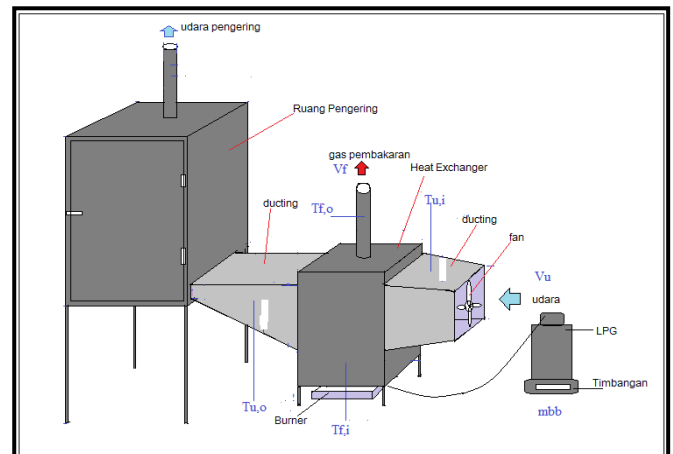
Pada penelitian ini, tipe alat penukar panas yang digunakan pada sistem pengering rumput laut adalah alat penukar panas dengan tipe aligned unfinned tubular. Fluida kerjanya adalah flue gas dan udara. Flue gas dihasilkan dari proses pembakaran liquefied petroleum gas (LPG). Udara yang terpanaskan adalah sebagai fluida pengering. Unjuk kerja sebuah sistem pengering sangat dipengaruhi oleh performansi alat penukar panas yang digunakannya. Oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk menganalisis/mengkaji performansi alat penukar panas tipe unfinned tubular dengan memvariasikan laju aliran massa konsumsi bahan bakar, laju aliran massa udara

pengering sebagai upaya untuk suatu aplikasi pengering rumput laut

Sehingga penelitian ini juga membandingkan performansi penukar panas barisan pipa-pipa tanpa sirip aligned dan staggered dengan memvariasikan laju aliran massa bahan bakar sebagai sumber energi pada sistem pengeringan dan memvariasikan laju aliran massa udara pengering. Performansi yang dianalisis meliputi: efektivitas (*effectiveness*), number of transfer unit (NTU), dan koefisien perpindahan panas keseluruhan (U).

2. Metode Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian meliputi: timbangan digital, burner, fan, termokopel, stopwatch, anemometer, penukar panas, alat pengering. Bahan bakar yang digunakan adalah LPG. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah: laju aliran massa bahan bakar dan laju aliran massa udara pengering. Variabel terikat meliputi efektivitas, NTU, dan koefisien perpindahan panas keseluruhan. Variasi laju aliran massa konsumsi bahan bakar adalah dalam lima variasi yang meliputi: 0,013gram/s, 0,02gram/s, 0,027gram/s, 0,033gram/s, dan 0,04gram/s. Susunan pipa-pipa ditetapkan adalah aligned dan staggered tanpa sirip. Laju aliran massa udara adalah dalam lima variasi meliputi: 0,014kg/s, 0,021kg/s, dan 0,028kg/s.



Gambar 1. Skematik Rancangan Penelitian





Gambar 2. Prototipe dan Se-up Pengujian

Skematik rancangan penelitian ditunjukkan pada gambar 1, dan Gambar 2. adalah prototipe dan set-up pengujianya. Prinsip kerjanya adalah udara dialirkan melalui susunan tube alat penukar panas, bahan bakar LPG dialirkan ke burner kemudian terjadi proses pembakaran, dari hasil pembakaran flue gas masuk ke dalam tube alat penukar panas, kemudian udara dari HE menuju tunnel dryer, sedangkan flue gas dari HE menuju lingkungan. Parameter yang diukur meliputi: pengukuran temperatur udara masuk alat penukar panas (HE), temperatur udara keluar alat penukar panas, temperatur flue gas masuk HE, temperatur flue gas keluar HE, penurunan massa dan waktu konsumsi bahan bakar, kecepatan aliran udara, dan kecepatan flue gas.

Prosedur penelitian meliputi: persiapan alat uji, menghidupkan fan, mengatur bukaan katup bahan bakar pada laju aliran massa bahan bakar yang telah ditentukan mulai dari yang rendah, menyalakan burner, setelah aliran stedi mencatat temperatur masuk dan keluaran alat penukar panas yang terbaca pada indikator termokopel, mengukur kecepatan udara, mengukur kecepatan flue gas, menimbang massa konsumsi bahan bakar, mencatat waktu konsumsi bahan bakar. Pencatatan data dilakukan dalam setiap selang waktu 5 menit selama 60menit. Pengulangan sebanyak 3 kali, dengan mengulangi langkah dari awal sampai akhir dengan variasi penambahan massa konsumsi bahan bakar berikutnya sampai variasi akhir dan selajutnya melakukan pengujian dengan memvariasikan kecepatan aliran massa udara yang melewati barisan pipa.

Persamaan matematis yang digunakan dalam pengolahan data untuk menentukan performansi alat penukar panas adalah menggunakan persamaan-persamaan bawah ini.

Laju aliran massa udara (\dot{m}_u), adalah [4]

$$\dot{m}_u = \rho_u V_u \cdot A_t \quad (\text{kg/s}) \quad (1)$$

A_t = luas penampang pipa (m^2).

ρ = massa jenis udara (kg/m^3)

Energi bahan bakar yang memasuki ruang pengering E_{bb} = (W) secara matematis dapat ditulis sebagai berikut [5]:

$$E_{bb} = m_{bb} \cdot LHV \quad (2)$$

\dot{m}_{bb} = laju aliran massa konsumsi bahan bakar (gram/s)

LHV = nilai kalor bawah bahan bakar (kJ/kg)

Laju energi panas flue gas yang dilepas dalam (W) ditentukan dengan persamaan [6]:

$$\dot{Q}_f = \dot{m}_f \cdot c_{p,f} \cdot (T_{f,o} - T_{f,i}) \quad (3)$$

\dot{m}_f = laju aliran massa flue gas (gram/s)

$c_{p,f}$ = kalor spesifik tekanan konstan flue gas (J/kgK)

$T_{f,o}$ = temperatur flue gas keluar HE ($^{\circ}\text{C}$)

$T_{f,i}$ = temperatur flue gas masuk HE ($^{\circ}\text{C}$)

Laju perpindahan panas ke udara dalam (W) yang dimanfaatkan untuk menaikkan temperatur udara ditentukan dengan persamaan:

$$\dot{Q}_u = \dot{m}_u \cdot c_{p,u} \cdot (T_{u,o} - T_{u,i}) \quad (4)$$

\dot{m}_u = laju aliran massa udara (kg/s)

$c_{p,u}$ = kalor spesifik udara (J/kgK)

$T_{u,o}$ = temperatur udara keluar HE ($^{\circ}\text{C}$)

$T_{u,i}$ = temperatur udara masuk HE ($^{\circ}\text{C}$)

Laju panas maksimum (Q_{\max} = W) yang dimanfaatkan untuk menaikkan temperatur udara fluida ditentukan dengan persamaan:

$$Q_{\max} = C_{\min} \cdot (T_{f,i} - T_{u,i}) \quad (5)$$

$C_{\min} = (\dot{m} \cdot c_p)_{\min}$ = kapasitas panas minimum,

Efektifitas HE (ϵ_{HE}), dihitung dengan persamaan:

$$(\epsilon_{HE}) = \frac{\dot{Q}_u}{\dot{Q}_{\max}} \times 100\% \quad (6)$$

Koefisien Perpindahan panas secara keseluruhan adalah U ($\text{W} / \text{m}^2 \cdot \text{K}$) menggunakan persamaan:

$$U = \frac{Q_u}{N \mu D L \Delta T_{LM}} \quad (7)$$

N = jumlah pipa dalam barisan/susunan,

D = diameter luar pipa (m)

L = panjang pipa (m)

ΔT_{LM} = perbedaaan temperatur rata-rata logaritmik ($^{\circ}\text{C}$) dapat ditentukan dengan persamaan:

$$\Delta T_{LM} = \frac{(T_{f,i} - T_{u,o}) - (T_{f,o} - T_{u,i})}{\ln(T_{f,i} - T_{u,o}) / (T_{f,o} - T_{u,i})} \quad (8)$$

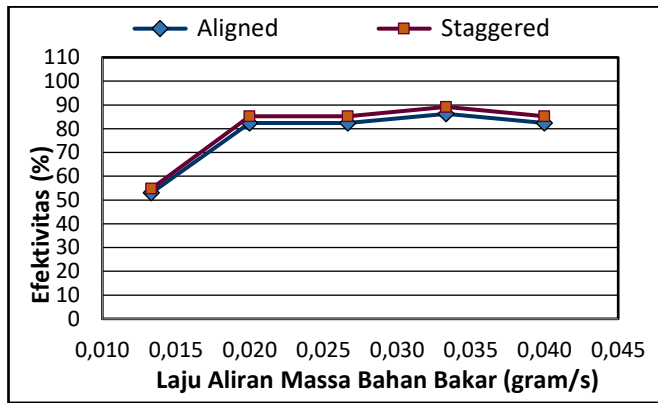
Number of Transfer Unit (NTU) ditentukan dengan menggunakan persamaan:

$$NTU = \frac{N \mu D L U}{C_{\min}} \quad (9)$$

3. Hasil dan Pembahasan

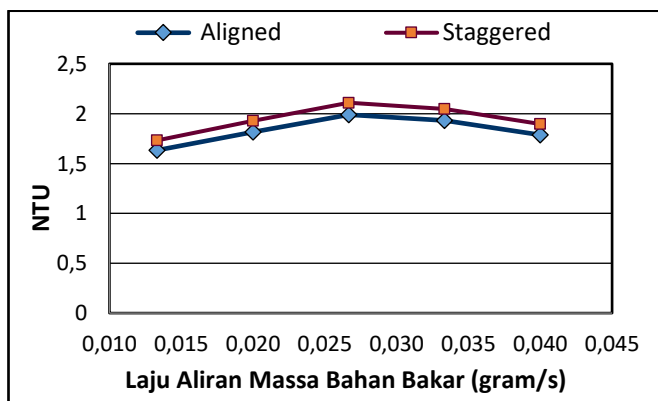
Gambar 3 menunjukkan hubungan antara efektifitas alat penukar panas terhadap variasi laju aliran massa konsumsi bahan bakar. Dari hasil diperoleh bahwa efektifitas alat penukar panas semakin meningkat dengan meningkatnya laju aliran

massa konsumsi bahan bakar tetapi pada laju aliran massa diatas 0,033 gram/s mengalami penurunan.



Gambar 3. Efektivitas terhadap laju aliran massa konsumsi bahan bakar.

Barisan pipa staggered menghasilkan efektivitas yang lebih tinggi dibandingkan pada barisan aligned. Efektivitas sebuah alat penukar panas menyatakan rasio antara laju perpindahan panas aktual pada HE terhadap laju perpindahan panas maksimumnya. Makin besar laju aliran massa konsumsi bahan bakar maka akan semakin besar laju perpindahan panas aktual yang ditransfer, sedangkan laju perpindahan panas maksimum sangat tergantung pada kapasitas panas minimum pada kedua fluida kerja dan tergantung pula pada perbedaan antara temperatur inlet flue gas dan temperatur inlet udara. Kapasitas panas minimum terjadi pada flue gas, yang mana dengan meningkatnya laju aliran massa konsumsi bahan bakar menyebabkan peningkatan kapasitas panas minimum pada flue gas, demikian juga terjadi pada perbedaan temperatur antara sisi masuk kedua fluida kerja. Nilai efektivitas maksimum adalah 89,18% terjadi pada barisan pipa-pipa susunan staggered pada laju aliran massa konsumsi bahan bakar 0,033gram/s, sedangkan barisan pipa-pipa susunan aligned memiliki nilai efektivitas maksimumnya adalah 86,26% Juga terjadi pada laju aliran massa konsumsi bahan bakar 0,033gram/s. Setelah laju aliran massa konsumsi bahan bakar tersebut maka efektivitasnya kemudian mengalami penurunan untuk kedua barisan pipa-pipa staggered maupun barisan aligned.



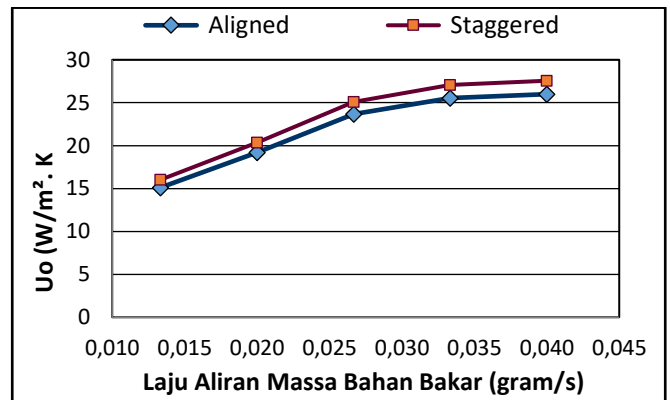
Gambar 4. NTU terhadap variasi laju aliran massa konsumsi bahan bakar.

Gambar 4 menunjukkan hubungan antara NTU terhadap variasi laju aliran massa konsumsi bahan

bakar. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pada barisan pipa-pipa susunan staggered menghasilkan NTU yang lebih tinggi dibandingkan pada barisan pipa-pipa susunan aligned.

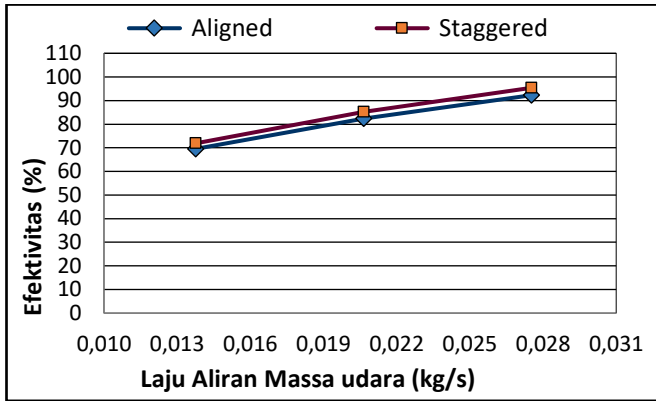
Trend kurva mendekati kurva fungsi kuadrat yang memiliki titik maksimum dengan nilai NTU tertinggi adalah 2,11 yang terjadi pada staggered pada laju aliran massa bahan bakar 0,027gram/s, sedangkan pada barisan pipa-pipa aligned nilai NTU tertinggi adalah 1,99 juga terjadi pada pada laju aliran massa konsumsi bahan bakar 0,027gram/s. Setelah laju aliran massa konsumsi bahan bakar tersebut, maka nilai NTU kemudian mengalami penurunan untuk kedua barisan pipa-pipa baik staggered maupun aligned. Nilai rata-rata NTU pada barisan pipa-pipa staggered adalah 6% lebih tinggi dibandingkan dengan barisan aligned.

Gambar 5 menunjukkan hubungan antara koefisien perpindahan panas keseluruhan terhadap laju aliran massa bahan bakar. Terlihat bahwa makin besar laju aliran massa bahan bakar maka makin besar energi panas yang diberikan ke alat penukar panas, sehingga laju aliran massa flue gas yang dihasilkan dalam pembakaran lebih besar pula.



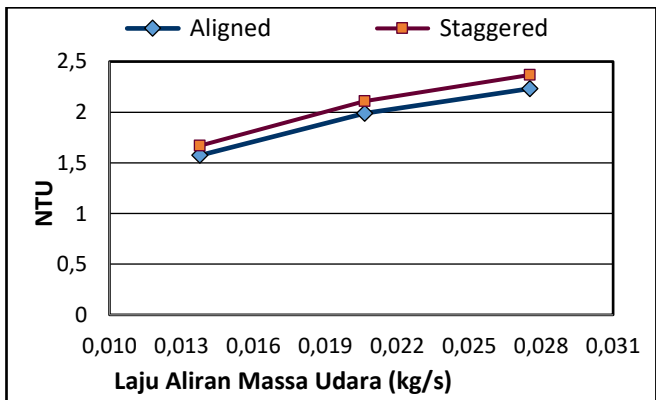
Gambar 5. Koefisien perpindahan panas keseluruhan terhadap laju aliran massa konsumsi bahan bakar.

Dengan peningkatan laju aliran massa tersebut maka menyebabkan peningkatan nilai koefisien perpindahan panas keseluruhan. Nilai ini dipengaruhi oleh nilai koefisien perpindahan panas pada sisi dalam pipa yang mengalami peningkatan akibat kecepatan flue gas yang meningkat. Sedangkan pada bagian luar barisan pipa melintas udara dengan laju aliran massa udara yang konstan. Nilai koefisien perpindahan panas keseluruhan (Uo) pada barisan pipa-pipa staggered lebih tinggi dibandingkan barisan pipa-pipa susunan aligned. Nilai Uo tertinggi 27,56 W/m².K untuk barisan pipa-pipa susunan staggered dan 25,99 W/m².K adalah nilai Uo tertinggi barisan pipa-pipa susunan aligned, dimana keduanya terjadi pada laju aliran massa konsumsi bahan bakar 0,04gram/s.

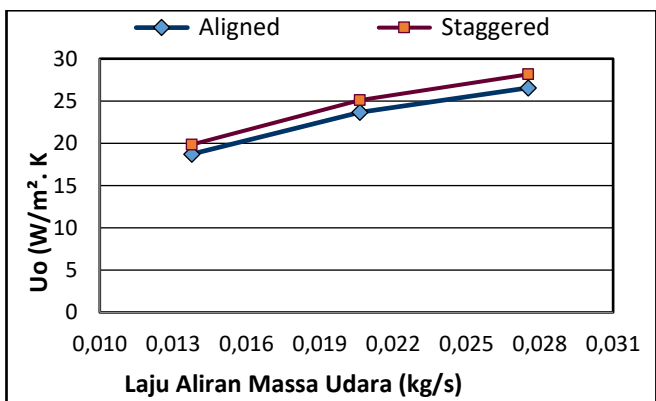


Gambar 6. Efektivitas terhadap laju aliran massa udara

Gambar 6 menunjukkan hubungan antara efektivitas terhadap laju aliran massa udara yang melewati permukaan luar barisan pipa penukar panas. Hasil menunjukkan trend kurva grafik yang hampir linear dimana dengan peningkatan laju aliran massa udara menghasilkan peningkatan efektivitas penukar panas. Efektivitas merupakan rasio antara jumlah panas yang mampu dipindahkan secara aktual terhadap panas yang maksimum yang dipindahkan oleh penukar panas tersebut. Dalam hal ini laju aliran massa konsumsi bahan bakar konstan, dan kapasitas panas minimum terjadi pada fluida gas buang (*flue gas*), sehingga laju panas maksimumnya adalah konstan, sedangkan laju panas aktual dipindahkan adalah meningkat. Nilai efektivitas tertinggi adalah 95,41% terjadi pada barisan pipa-pipa susunan staggered pada laju aliran massa udara 0,028gram/s dan barisan pipa-pipa susunan aligned efektivitas maksimumnya adalah 92,28% Juga terjadi pada laju aliran massa udara 0,028gram/s.



Gambar 7. NTU terhadap laju aliran massa udara



Gambar 8. Koefisien perpindahan panas keseluruhan

(U_o) terhadap laju aliran massa udara.

Gambar 7 menunjukkan hubungan antara NTU terhadap laju aliran massa udara yang melewati permukaan luar barisan pipa penukar panas. Terlihat bahwa nilai NTU mengalami peningkatan dengan peningkatan laju aliran massa udara yang melewati barisan pipa tanpa sirip. Kedua kurva mendekati trend yang linear. Untuk barisan pipa susunan staggered nilai NTU yang dihasilkan lebih tinggi dari pada aligned. Nilai NTU tertinggi adalah 2,37 pada barisan pipa-pipa susunan staggered yang terjadi pada laju aliran massa udara 0,028 kg/s, sedangkan nilai NTU pada barisan pipa-pipa susunan aligned adalah 2,23 juga terjadi pada laju aliran massa udara 0,028 kg/s. NTU merupakan fungsi dari nilai koefisien perpindahan panas keseluruhan (U_o) dan kapasitas panas minimum antara kedua fluida kerja. NTU berbanding lurus dengan (U_o) dan berbanding terbalik dengan (C_{min}). Kapasitas panas minimum (C_{min}) adalah terjadi pada *flue gas* dengan nilai yang konstan hal ini disebabkan oleh laju aliran massa bahan bakar yang mengalir menuju ruang bakar adalah dikondisikan konstan.

Gambar 8 adalah hubungan antara koefisien perpindahan panas keseluruhan (U_o) penukar panas barisan pipa-pipa tanpa sirip terhadap laju aliran massa udara. Nilai (U_o) mengalami peningkatan dengan adanya peningkatan laju aliran massa udara yang melewati permukaan luar barisan pipa-pipa.

Nilai koefisien perpindahan panas keseluruhan (U_o) untuk barisan pipa-pipa staggered lebih tinggi dibandingkan barisan pipa-pipa susunan aligned. Nilai U_o tertinggi adalah 28,16 W/m².K untuk barisan pipa-pipa susunan staggered dan 26,56 W/m².K adalah nilai U_o tertinggi untuk susunan aligned, dan keduanya terjadi pada laju aliran massa udara 0,028kg/s.

Tabel 1. Nilai Performansi rata-rata pada variasi laju aliran massa konsumsi bahan bakar

Susunan Barisan pipa-pipa	Nilai efektivitas rata-rata (%)	Nilai NTU rata-rata	Nilai (U_o) rata-rata (W/m ² .K)
staggered	79,93	1,94	23,22
aligned	77,31	1,83	21,90

Tabel 2. Nilai Performansi rata-rata pada variasi laju aliran massa udara

Susunan Barisan pipa-pipa	Nilai efektivitas rata-rata (%)	Nilai NTU rata-rata	Nilai (U_o) rata-rata (W/m ² .K)
staggered	84,18	2,05	24,37
aligned	81,42	1,93	22,98

Tabel 1. menunjukkan nilai performansi rata-rata terhadap variasi laju aliran massa konsumsi bahan bakar, dan Table 2. menunjukkan nilai performansi rata-rata terhadap variasi laju aliran massa udara. Dari table tersebut terlihat nilai rata-rata performansi susunan

staggered lebih tinggi dari susunan aligned baik pada variasi laju aliran massa konsumsi bahan bakar, maupun pada variasi laju aliran massa udara.

4. Simpulan

Dari hasil dapat disimpulkan bahwa secara rata-rata nilai performansi barisan pipa-pipa susunan staggered lebih tinggi dari pada barisan pipa-pipa susunan aligned.

Pada variasi laju aliran massa konsumsi bahan bakar melintasi bagian dalam barisan pipa-pipa, menghasilkan nilai efektivitas maksimum sebesar 89,18% untuk susunan staggered dan 86,26% untuk susunan aligned, yang terjadi pada laju aliran massa 0,033gram/s, nilai NTU maksimum sebesar 2,11 untuk susunan staggerred dan 1,99 untuk susunan aligned, yang terjadi pada laju aliran massa 0,027gram/s, dan nilai koefisien perpindahan panas keseluruhan maksimum sebesar 27,56 W/m².K untuk susunan staggered dan 25,99 W/m².K untuk susunan aligned, yang terjadi pada laju aliran massa 0,04gram/s.

Pada variasi laju aliran massa udara melintasi permukaan bagian luar barisan pipa-pipa, maka menghasilkan nilai efektivitas maksimum sebesar 95,4% untuk susunan staggered dan 92,28% untuk susunan aligned, yang terjadi pada laju aliran massa 0,028kg/s, nilai NTU maksimum sebesar 2,37 untuk susunan staggerred dan 2,23 untuk susunan aligned, yang terjadi pada laju aliran massa 0,028kg/s, dan nilai koefisien perpindahan panas keseluruhan maksimum sebesar 28,16 W/m².K untuk susunan staggered dan 26,56 W/m².K untuk susunan aligned, adalah juga terjadi pada laju aliran massa 0,028 kg/s.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kepada program DIPA PNBPN Universitas Udayana, LPPM Universitas Udayana, dan Fakultas Teknik yang merealisasikan pendanaan penelitian DIPA PNBPN Universitas Udayana, dimana penelitian ini adalah merupakan penelitian pengembangan lanjutan dan terkait dengan penelitian yang didanai pada tahun sebelumnya.

Daftar Pustaka

- [1] Evan Ch. Kumesan¹, Engel V. Pandey² dan Helen J. Lohoo, *Analisa Total Bakteri, Kadar Air Dan PH Pada Rumput Laut (Kappaphycus Alvarezii) Dengan Dua Metode Pengeringan*, Jurnal Media Teknologi Hasil Perikanan, 5(1), pp. 124-129, 2017.
- [2] Farel H. Napitupulu, Putra Mora Tua, Perancangan dan Pengujian Alat Pengering Kakao dengan tipe Cabinet Dryer Untuk Kapasitas 7,5 Kg Per-siklus, *Jurnal Dinamis*, Januari 2012, 2(10), pp.11.18. 2012.
- [3] Suarnadwipa, Bandem Adnyana, Agus Hendra Wiguna, *Performansi Sistem Pengering Pakaian Dengan Variasi Konsumsi Bahan Bakar*, Prosiding Konferensi Nasional Engineering Perhotelan VIII, 5(1), pp. 144-146, 2017.
- [4] Robert W. Fox, Alan T. McDonald, *Introduction to Fluid Mechanics*, 2nd edition, John Wiley &Son., 1973.

- [5] William C. Reynolds, Henry C, Perkins, Filino Harahap, *Termodinamika Teknik*, Erlangga, 1996
- [6] Theodore L. Bergman, Adrienne S. Lavine, Frank P. Incropera, David P. Dewitt, *Introduction to Heat Transfer*, Sixth edition, John Wiley & Sons, Inc. New York, 2011.



Made Ricki Murti menyelesaikan pendidikan S1 Teknik Mesin di Universitas Udayana tahun 1992. Pendidikan magister Teknik Mesin diselesaikan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya tahun 2000 dengan area riset Perpindahan Panas. Kini bekerja sebagai dosen di PST. Mesin , FT, Universitas Udayana, Badung-Bali.