



SEMINAR NASIONAL

FUNDAMENTAL DAN APLIKASI TEKNIK KIMIA

1997

Kampus ITS, 5-6 Nopember 1997

ISSN 1410-566

PROSIDING



JURUSAN TEKNIK KIMIA
dan
HIMPUNAN MAHASISWA TEKNIK KIMIA
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER



PROSIDING

Seminar Nasional Fundamental dan Aplikasi Teknik Kimia 1997

Copyright© Nopember 1997

ISSN 1410-5667

Teknik Kimia – FTI - ITS

Editor :

- ❑ Prof. Oedjoe Djoeriaman, MSc., PhD.
- ❑ Prof. Dr. Ir. H.M. Rachimoellah, Dipl. Est.
- ❑ Prof. Ir. Achmad Baktir, M.App.Sc.
- ❑ Prof. Ir. Judjono Soewarno

Penyelenggara Seminar :

Jurusan Teknik Kimia

dan

Himpunan Mahasiswa Teknik Kimia

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Panitia pengarah :

- Prof. Oedjoe Djoeriaman, MSc., PhD.
- Prof. Dr. Ir. H.M. Rachimoellah, Dipl. Est.
- Prof. Ir. Achmad Baktir, M.App.Sc.
- Prof. Ir. Judjono Soewarno
- Dr. Ir. Nonot Soewarno, MEng.
- Ir. Renanto Handogo, MS., PhD.
- Dr. Ir. Achmad Roesyadi
- Dr. Ir. Sugeng Winardi, MEng.
- Dr. Ir. Mahfud, DEA.
- Dr. Ir. Suprpto, Dipl. Ing.

Panitia pelaksana :

- Ketua: Ir. Gede Wibawa, MEng.
- Kesekretariatan: Tantular Nurtono., ST & Himatekk
- Keuangan: Ir. Pantjawarni P. & Sudarmi
- Perlengkapan: Ir. Ismojowati, TJ., MS.
- Acara & Persidangan: Ir. Heru Setyawan, MEng. & Himatekk
- Dokumentasi, Publikasi, Akomodasi : Himatekk
- Konsumsi : Ir. Tiarsipeni



DAFTAR ISI

A. PERPINDAHAN MASSA DAN PANAS

- A1. "Kelarutan Gas Dan Koeffisien Transfer Massa Gas-Cair Pada Sistem Hidrogen/Karbon Monoksida - Air/Ethanol/Oktena", *Purwanto, T. Kimia - UNDIP*
- A2. "Pengaruh Kecepatan Aliran Pelarut Terhadap Koeffisien Perpindahan Massa Volumetris Sistem Padat-Cair Pada Kolom Fluidisasi", *Andri Cahyo Kumoro, Erna Astuti, T. Kimia - U.Ahmad Dahlan Yogyakarta*
- A3. "Pengaruh Kecepatan Aliran Fluida Panas dan Kecepatan Aliran Fluida Dingin Terhadap Koeffisien Perpindahan Panas Menyeluruh pada Perpindahan Panas Melalui Dinding Bergelombang", *Suratno Lourentius, T. Kimia - UWM Surabaya*
- A4. "Penelitian Fenomena Slagging dan Fouling Hasil Pembakaran Batubara Jenis Subbituminus", *M. Marcus L.P., UPT-LSDE-BPPT Puspitek*
- A5. "Fenomena Perpindahan Panas dalam Aliran Turbulen di Pipa Horisontal", *M. Marcus L.P., UPT-LSDE-BPPT Puspitek*
- A6. "Koeffisien Perpindahan Panas pada Proses Pemanasan Liquida dalam Bejana Berpengaduk dengan Koil", *Tantular N, Herwindo Y., Oedjoe Djoeriaman, T. Kimia FTI-ITS*

B. THERMODINAMIKA TEKNIK KIMIA

- B1. "Sistem Keseimbangan Air-Asam Malat -(TIOA + DIBK)", *Bakti Jos, T. Kimia - Undip*
- B2. "Sistem Keseimbangan Air-Asam Laktat -(TIOA + Oktanol-1)", *Andjas Kuswantoro, Bakti Jos, T. Kimia U. Pandanaran & T. Kimia - Undip*
- B3. "Keseimbangan Uap-Cair Sistem Biner Etanol-N-Hexane, Etanol-N-Heptane dan N-Hexane-N-Heptane pada Tekanan Atmosfer", *Agung Rasmito, Gede Wibawa, T. Kimia ITATS & T.Kimia FTI-ITS*
- B4. "Pengaruh Kosolven pada Kelarutan β -Karotin dalam CO₂ Superkritik", *Hadi W, A. Prasetyaningrum, R. Ufie, A. Suwono, J.P. Sitompul, T. Kimia - ITB*
- B5. "Prediksi Selektivitas dan Kelarutan Etanol Dalam Pelarut CO₂ Superkritik", *J.P. Sitompul, I.N. Widiasta, Yudi Samyudia, T. Kimia - ITB*
- B6. "Partisi Keseimbangan Pestisida Sumithion antara Udara dan Tanah", *Hargono, Wahyudi B.S, Boma Wikan T., T. Kimia - UGM*

C. PENDIDIKAN TEKNIK KIMIA

- C1. "Transformasi Teknologi Di Indonesia (Dalam Rangka Pengetrapannya)", *Soewardjo, T. Kimia - UPN Surabaya*
- C2. "Pengajaran Kuliah Azas Teknik Kimia Berbasis Multimedia", *Minta Yuwana, Tantular Nurtono, T. Kimia, ITS*

PROSIDING

Seminar Nasional Fundamental dan Aplikasi Teknik Kimia 1997

Copyright© Nopember 1997

ISSN 1410-5667

Teknik Kimia – FTI - ITS

Editor :

- ❑ Prof. Oedjoe Djoeriaman, MSc., PhD.
- ❑ Prof. Dr. Ir. H.M. Rachimoellah, Dipl. Est.
- ❑ Prof. Ir. Achmad Baktir, M.App.Sc.
- ❑ Prof. Ir. Judjono Soewarno



Penyelenggara Seminar :

Jurusan Teknik Kimia

dan

Himpunan Mahasiswa Teknik Kimia

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Panitia pengarah :

- Prof. Oedjoe Djoeriaman, MSc., PhD.
- Prof. Dr. Ir. H.M. Rachimoellah, Dipl. Est.
- Prof. Ir. Achmad Baktir, M.App.Sc.
- Prof. Ir. Judjono Soewarno
- Dr. Ir. Nonot Soewarno, MEng.
- Ir. Renanto Handogo, MS., PhD.
- Dr. Ir. Achmad Roesyadi
- Dr. Ir. Sugeng Winardi, MEng.
- Dr. Ir. Mahfud, DEA.
- Dr. Ir. Suprpto, Dipl. Ing.

Panitia pelaksana :

- Ketua: Ir. Gede Wibawa, MEng.
- Kesekretariatan: Tantular Nurtono., ST & Himatekk
- Keuangan: Ir. Pantjawarni P. & Sudarmi
- Perlengkapan: Ir. Ismojowati, TJ., MS.
- Acara & Persidangan: Ir. Heru Setyawan, MEng. & Himatekk
- Dokumentasi, Publikasi, Akomodasi : Himatekk
- Konsumsi : Ir. Tiarsipeni



PENGARUH KECEPATAN ALIRAN FLUIDA PANAS DAN KECEPATAN ALIRAN FLUIDA DINGIN TERHADAP KOEFISIEN PERPINDAHAN PANAS MENYELURUH PADA PERPINDAHAN PANAS MELALUI DINDING BERGELOMBANG

Oleh : Suratno Lourentius
Fakultas Teknik Jurusan Teknik Kimia Universitas Katolik Widya Mandala
Jl. Kalijudan 37 Surabaya

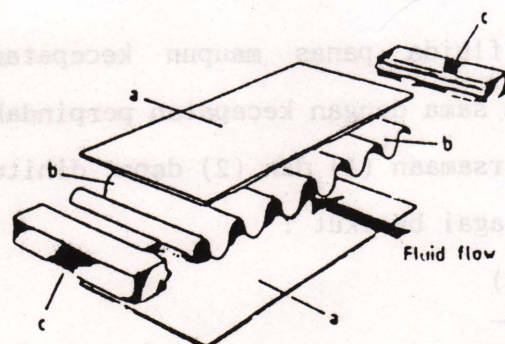
I. PENGANTAR

I.1. Latar Belakang

Satuan operasi merupakan penerapan dari satu atau lebih fenomena perpindahan baik perpindahan momentum, panas atau massa. Peralatan satuan operasi untuk perpindahan panas dikenal beberapa tipe, misalnya : "double pipe heat exchanger", "shell-tube heat exchanger" dan "plate-fin heat exchanger". Untuk merancang alat perpindahan panas tipe terakhir diperlukan persamaan dasar yang menghubungkan antara koefisien perpindahan panas dengan variabel-variabel lain yang mempengaruhinya. Persamaan tersebut masih jarang tersedia dalam publikasi ilmiah. Oleh karena itu dirasa perlu untuk mencari persamaan hubungan antara koefisien perpindahan panas keseluruhan dengan variabel-variabel yang berpengaruh pada alat penukar panas tipe "plate-fin", yang di dalam laboratorium didekati dengan plat bergelombang.

I.2. Tinjauan Pustaka

Plate-fin heat exchanger mempunyai sirip antara dua plat yang sejajar. Kadang-kadang sirip tergabung dalam sebuah plat bergelombang, seperti terlukis pada Gambar 1. Plat-plat tersebut memisahkan dua aliran fluida yang berbeda suhunya.

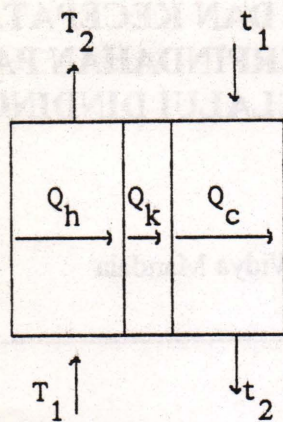


Keterangan Gambar

- a. plat
- b. fin
- c. batang tempat menempelnya plat.

Gambar 1. Komponen-komponen penyusun Plate-fin heat exchanger

Perpindahan panas antara dua fluida yang dipisahkan dengan dinding bergelombang secara skematis ditunjukkan dengan Gambar 2 berikut:



Keterangan Gambar:

Q_h = transfer panas dari fluida panas secara konveksi, w

Q_c = transfer panas dari fluida panas secara konveksi, w

Q = transfer panas dari fluida panas secara konduksi, w

T_1 = suhu air panas masuk, $^{\circ}\text{C}$

T_2 = suhu air panas ke luar, $^{\circ}\text{C}$

t_1 = suhu air dingin masuk, $^{\circ}\text{C}$

Gambar 2. Perpindahan panas melalui dinding bergelombang

I.3. Evaluasi Koefisien perpindahan panas menyeluruh

Kecepatan perpindahan panas dari fluida panas ke dinding = kecepatan perpindahan panas di dalam dinding = kecepatan perpindahan panas dari dinding ke fluida dingin. Dalam keadaan mantap maka kecepatan panas yang dilepaskan oleh fluida panas = kecepatan panas yang diserap oleh fluida dingin, yang dapat dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$Q = m_h \cdot c_{p_h} \cdot (T_1 - T_2) = m_c \cdot c_{p_c} \cdot (t_2 - t_1) \quad (1)$$

Kecepatan perpindahan panas secara menyeluruh yang merupakan hasil penggabungan proses konveksi dari fluida panas ke dinding, konduksi di dalam dinding dan proses konveksi dari dinding ke fluida dingin dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T_{LMTD} \quad (2)$$

dengan :

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln \left(\frac{T_1 - t_2}{T_2 - t_1} \right)} \quad (3)$$

Baik kecepatan panas yang dilepas oleh fluida panas maupun kecepatan panas yang diterima oleh fluida dingin adalah sama dengan kecepatan perpindahan panas menyeluruh. Oleh karena itu dari persamaan (1) dan (2) dapat dihitung koefisien perpindahan panas menyeluruh sebagai berikut :

$$U = \frac{m_h \cdot c_{p_h} \cdot (T_1 - T_2)}{A \cdot \Delta T_{LMTD}} = \frac{m_c \cdot c_{p_c} \cdot (t_2 - t_1)}{A \cdot \Delta T_{LMTD}} \quad (4)$$

Analisa Dimensi

Koefisien perpindahan panas menyeluruh (U) dipengaruhi oleh beberapa variabel, baik variabel yang berkaitan dengan fluida panas, fluida dingin maupun variabel yang berkaitan dengan peralatan. Variabel-variabel yang berkaitan dengan fluida panas antara lain: densitas (ρ_h), viskositas (μ_h), konduktivitas termis (k_h), kapasitas panas (c_{ph}) dan kecepatan aliran linier fluida (v_h). Variabel-variabel yang berkaitan dengan fluida dingin antara lain: densitas (ρ_c), viskositas (μ_c), konduktivitas termis (k_c), kapasitas panas (c_{pc}) dan kecepatan aliran linier fluida (v_c). Variabel-variabel yang berkaitan dengan peralatan antara lain :Diameter efektif aliran (D_e), jarak antara puncak 2 gelombang yang terdapat pada logam (L_a) dan tinggi gelombang plat (d_a).

Hubungan antara koefisien perpindahan panas menyeluruh (U) dengan variabel-variabel lain yang mempengaruhinya secara analisa dimensi dengan beberapa penyederhanaan dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut :

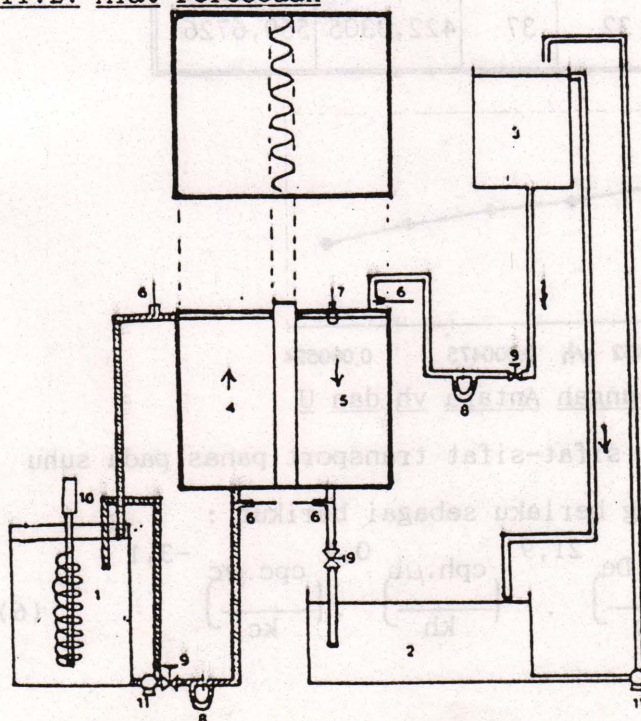
$$\frac{U \cdot D_e}{v_{kh} \cdot k_c} = a_0 \cdot \left(\frac{\rho_h \cdot v_h \cdot D_e}{\mu_h} \right)^{a_1} \cdot \left(\frac{\rho_c \cdot v_c \cdot D_e}{\mu_c} \right)^{a_2} \cdot \left(\frac{c_{ph} \cdot \mu_h}{k_h} \right)^{a_3} \cdot \left(\frac{c_{pc} \cdot \mu_c}{k_c} \right)^{a_4} \quad (5)$$

II. METODOLOGI PENELITIAN

II.1. Bahan

Sebagai fluida kerja dipakai air PDAM dengan sifat-sifat fisis pada 30°C densitas 995,68 kg/m³ dan viskositas 0,8007x10⁻³ kg/m.s

II.2. Alat Percobaan



Keterangan Gambar:

1. Tangki air panas;
2. Tangki penampung air dingin;
3. Tangki air dingin;
4. Tangki untuk fluida panas;
5. Tangki untuk fluida dingin;
6. Termometer;
7. Pengukur ketinggian air;
8. Orificemeter;
9. Kran pengatur aliran;
10. Pemanas celup;
11. Pompa;

Gambar 3. Rangkaian Alat Penelitian

II.3. Prosedur Penelitian

- Mengisi tangki 1, dan tangki 2 serta tangki 5 dengan air;
- Pemanas tangki 1 dinyalakan;
- Setelah air pada tangki 1 mencapai suhu tertentu, pompa dinyalakan dan air panas dialirkan dengan kecepatan tertentu. Bersamaan dengan itu air dingin dari tangki 3 dialirkan dengan kecepatan tertentu pula;
- setelah tinggi permukaan air pada tangki bagian 4 dan 5 konstan, suhu air masuk dan suhu air ke luar pada tangki 4 dan 5 dicatat;
- percobaan di atas diulangi sebanyak 7 kali dengan mengubah kecepatan masuk pada tangki 4, dengan kecepatan masuk ke tangki 5 konstan;
- percobaan 5 diulangi lagi dengan mengubah kecepatan masuk pada tangki 5, kecepatan masuk pada tangki 4 konstan.

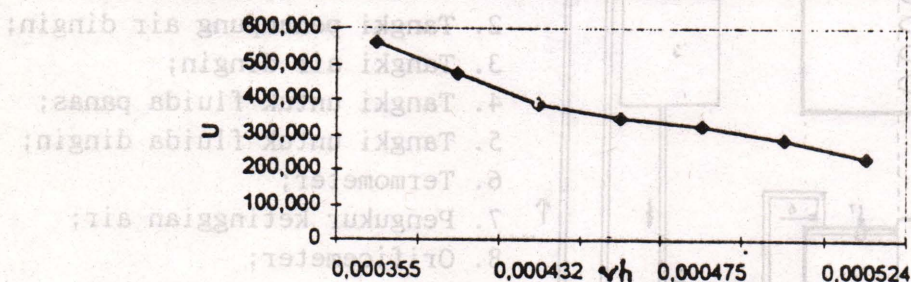
III. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian disajikan dalam Tabel 1, 2, 3 dan Gambar 4, 5.

III.1. Pengaruh Variasi Kecepatan Linier Air Panas

Tabel 1. Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh (U) untuk berbagai Variasi Kecepatan Linier Air Panas Masuk (vh) ($v_c=0,000442$ m/s, $L_a=0,05$ m, $De=0,14776$ m, $da=0,03$ m, $Ap=0,043475$ m², $A=0,02475$ m²)

Vh, m ³ /s	vh, m/s	T1, °C	T2, °C	t1, °C	t2, °C	Qavg, w	U, w/m ² .°C
2,280x10 ⁻⁵	5,24x10 ⁻⁴	68,5	65,5	32	33,5	200,5278	236,5932
2,185x10 ⁻⁵	5,03x10 ⁻⁴	68,5	65	32	34	237,1345	283,9376
2,065x10 ⁻⁵	4,75x10 ⁻⁴	68,5	64,5	32	34,5	269,7368	327,8323
1,980x10 ⁻⁵	4,55x10 ⁻⁴	68,5	64	32	34,5	283,1316	346,7615
1,880x10 ⁻⁵	4,32x10 ⁻⁴	68,5	63,5	32	35	313,2120	389,5178
1,700x10 ⁻⁵	3,91x10 ⁻⁴	68,5	62,5	32	36	369,6910	474,3564
1,545x10 ⁻⁵	3,55x10 ⁻⁴	68,5	61,5	32	37	422,3305	559,6726



Gambar 4. Kurva Hubungan Antara vh dan U

Dari tabel 1 disertai dengan data sifat-sifat transport panas pada suhu yang sesuai dapat dibuat persamaan yang berlaku sebagai berikut :

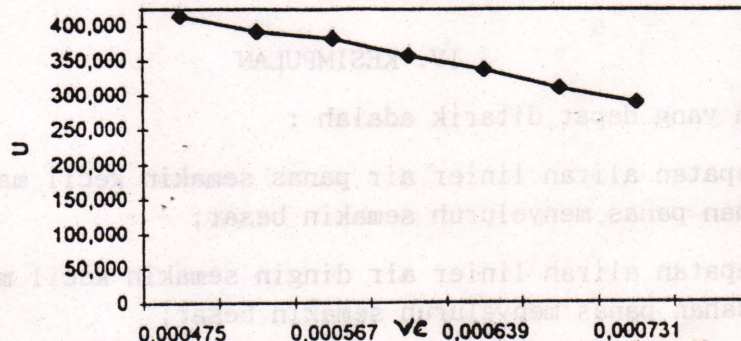
$$\frac{U \cdot De}{k_h \cdot k_c} = 8,9 \times 10^{-40} \left(\frac{\rho_h \cdot V_h \cdot De}{\mu_h} \right)^{2,6} \cdot \left(\frac{\rho_c \cdot V_c \cdot De}{\mu_c} \right)^{21,9} \cdot \left(\frac{c_{ph} \cdot \mu_h}{k_h} \right)^{0,4} \cdot \left(\frac{c_{pc} \cdot \mu_c}{k_c} \right)^{-3,1} \quad (6)$$

Dari tabel 1 dan Gambar 4 terlihat bahwa semakin kecil kecepatan air panas (v_h) maka nilai koefisien perpindahan panas (U) semakin besar. Hal ini dapat dijelaskan karena dengan semakin kecilnya nilai v_h maka kesempatan air panas untuk melepaskan panas ke dinding logam juga semakin besar, sedangkan jumlah panas (Q) berbanding lurus dengan nilai U . Disamping itu, apabila v_h semakin kecil maka suhu air dingin semakin besar akibatnya viskositas air dingin menjadi semakin kecil sehingga gerakan partikel-partikel cairan semakin cepat.

III.2. Pengaruh Variasi Kecepatan Linier Air Dingin

Tabel 2. Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh (U) untuk berbagai Variasi Kecepatan Linier Air Dingin Masuk (v_c) ($v_h=0,000455$ m/s, $L_a=0,05$ m, $D_e=0,14776$ m, $d_a=0,03$ m, $A_p=0,043475$ m², $A=0,02475$ m²)

$V_c, m^3/s$	$v_c, m/s$	$T_1, ^\circ C$	$T_2, ^\circ C$	$t_1, ^\circ C$	$t_2, ^\circ C$	$Q_{avg, w}$	$U, w/m^2 \cdot ^\circ C$
$3,180 \times 10^{-5}$	$7,31 \times 10^{-4}$	68,5	65	32	33,5	241,7529	287,3726
$3,040 \times 10^{-5}$	$6,99 \times 10^{-4}$	68,5	64,5	32	33,5	257,7579	308,7138
$2,780 \times 10^{-5}$	$6,39 \times 10^{-4}$	68,5	64,5	32	34	278,5738	336,0856
$2,640 \times 10^{-5}$	$6,06 \times 10^{-4}$	68,5	64	32	34	292,9206	356,1165
$2,470 \times 10^{-5}$	$5,67 \times 10^{-4}$	68,5	64	32	34,5	311,4971	381,5017
$2,180 \times 10^{-5}$	$5,01 \times 10^{-4}$	68,5	63,5	32	34,5	317,0556	391,3462
$2,070 \times 10^{-5}$	$4,75 \times 10^{-4}$	68,5	63,5	32	35	332,5606	413,5670



Gambar 5. Kurva Hubungan Antara v_c dan U

Dari tabel 2 disertai dengan data sifat-sifat transport panas pada suhu yang sesuai dapat dibuat persamaan yang berlaku sebagai berikut :

$$\frac{U \cdot D_e}{k_h \cdot k_c} = 1,5 \times 10^{-7} \left(\frac{\rho_h \cdot v_h \cdot D_e}{\mu_h} \right)^{0,2} \cdot \left(\frac{\rho_c \cdot v_c \cdot D_e}{\mu_c} \right)^{-0,5} \cdot \left(\frac{c_{ph} \cdot \mu_h}{k_h} \right)^{-0,7} \cdot \left(\frac{c_{pc} \cdot \mu_c}{k_c} \right)^{13,8} \quad (7)$$

Dari tabel 2 dan Gambar 5 terlihat bahwa semakin kecil kecepatan air panas (v_c) maka nilai koefisien perpindahan panas (U) semakin besar. Hal ini dapat dijelaskan karena dengan semakin kecilnya nilai v_c maka kesempatan air panas

untuk melepaskan panas ke dinding logam juga semakin besar, sedangkan jumlah panas (Q) berbanding lurus dengan nilai U.

III.3. Pengaruh Gabungan Variasi Kecepatan Linier Air Panas dan Dingin

vh,m/s	vc,m/s	T1, °C	T2, °C	t1, °C	t2, °C	Qavg,w	U,w/m ² . °C
5,240x10 ⁻⁴	4,42x10 ⁻⁴	68,5	65,5	32	33,5	200,5278	236,5932
5,030x10 ⁻⁴	4,42x10 ⁻⁴	68,5	65	32	34	237,1345	283,9376
4,750x10 ⁻⁴	4,42x10 ⁻⁴	68,5	64,5	32	34,5	269,7368	327,8323
4,550x10 ⁻⁴	4,42x10 ⁻⁴	68,5	64	32	34,5	283,1316	346,7615
4,320x10 ⁻⁴	4,42x10 ⁻⁴	68,5	63,5	32	35	313,2120	389,5178
3,910x10 ⁻⁴	4,42x10 ⁻⁴	68,5	62,5	32	36	369,6910	474,3564
3,550x10 ⁻⁴	4,42x10 ⁻⁴	68,5	61,5	32	37	422,3305	559,6726
4,550x10 ⁻⁴	7,31x10 ⁻⁴	68,5	65	32	33,5	241,7529	287,3726
4,550x10 ⁻⁴	6,99x10 ⁻⁴	68,5	64,5	32	33,5	257,7579	308,7138
4,550x10 ⁻⁴	6,39x10 ⁻⁴	68,5	64,5	32	34	278,5738	336,0856
4,550x10 ⁻⁴	6,06x10 ⁻⁴	68,5	64	32	34	292,9206	356,1165
4,550x10 ⁻⁴	5,67x10 ⁻⁴	68,5	64	32	34,5	311,4971	381,5017
4,550x10 ⁻⁴	5,01x10 ⁻⁴	68,5	63,5	32	34,5	317,0556	391,3462
4,550x10 ⁻⁴	4,75x10 ⁻⁴	68,5	63,5	32	35	332,5606	413,5670

Dari tabel 3 disertai dengan data sifat-sifat transport panas pada suhu yang sesuai dapat dibuat persamaan yang berlaku sebagai berikut :

$$\frac{U.De}{k_h.k_c} = 2,8 \times 10^{-10} \left(\frac{\rho_h.V_h.De}{\mu_h} \right)^{0,6} \cdot \left(\frac{\rho_c.V_c.De}{\mu_c} \right)^{0,1} \cdot \left(\frac{c_{ph}.\mu_h}{k_h} \right)^{25,9} \cdot \left(\frac{c_{pc}.\mu_c}{k_c} \right)^{-1,6} \quad (8)$$

IV. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat ditarik adalah :

- apabila kecepatan aliran linier air panas semakin kecil maka nilai koefisien perpindahan panas menyeluruh semakin besar;
- apabila kecepatan aliran linier air dingin semakin kecil maka nilai koefisien perpindahan panas menyeluruh semakin besar;
- apabila kecepatan aliran linier baik air panas maupun air dingin semakin kecil maka nilai koefisien perpindahan panas menyeluruh semakin besar.

DAFTAR PUSTAKA

- Geankoplis, C.J., 1983, "Transport Processes and Unit Operations"; 2ed., pp. 797- 799, Allyn and Bacon Inc., Boston.
- Holman, J.P., 1991, "Perpindahan Panas" (edisi terjemahan), edisi ke-6, hlm.32 -33, hlm.480-491, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- McCabe, W.L., Smith, J.C. dan Harriott, P., 1985, "Operasi Teknik Kimia", (edisi terjemahan), edisi ke-4, jilid 1, hlm.297-307, Penerbit Erlangga, Jakarta.