

DESAIN HEATER PADA PRANCANGAN PABRIK KIMIA PRODUKSI KARBON AKTIF DARI SERBUK GERGAJI KAYU KAPASITAS 8000 TON/TAHUN

Mir'atul Jannah dan Ari Susanti

Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No. 9, Malang 65141, Indonesia
miratuljannah61@gmail.com ; ari.susanti@polinema.ac.id

ABSTRAK

Proses pembuatan karbon aktif dari serbuk gergaji kayu mempunyai beberapa tahap yaitu tahap *pretreatment*, tahap pirolisis, tahap aktivasi dan *packaging*. Pada tahap *pretreatment* dilakukan pengeringan pada serbuk gergaji hingga kadar airnya mencapai 5% dari berat total serbuk gergaji. Tujuan pengeringan pada serbuk gergaji pada *rotary dryer* dibantu oleh *heater* untuk memanaskan udara kering. Oleh karena itu, diperlukan desain *heater* yang sesuai dengan kondisi operasi yang diinginkan. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan desain *heater* pada prarancangan pabrik kimia produksi karbon aktif dari serbuk gergaji kayu kapasitas 8000 ton/tahun. Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan tipe *heater* adalah *double pipe heat exchanger* (DPHE) dengan dimensi ukurannya yaitu dengan dimensi ukuran 4×3 in², NPS 3, nomor *schedule* 40, diameter dalam pipa 3,068 in, diameter luar pipa 3,5 in, panjang pipa 20 ft, dan jumlah hairpin 4 buah. Perhitungan desain *heater* ini diharapkan dapat menjadi acuan desain kebutuhan alat penukar panas pada prarancangan pabrik kimia yang memproduksi karbon aktif dari serbuk gergaji kayu kapasitas 8000 ton/tahun.

Kata kunci: *double pipe heat exchanger, heater, karbon aktif, pirolisis*

ABSTRACT

The making process of sawdust activated carbon had several stages, such as *pretreatment*, *pyrolysis process*, *activation*, *packaging*. At the *pre-treatment* stage, sawdust was dried until the moisture content reached 5%. The purpose of drying sawdust in a *rotary dryer* assisted by a *heater* was to heat the dry air. Therefore, it was necessary to design a *heater* that was suitable for the desired operating conditions. The aims of this study was to determine the design of the *heater* in the chemical plant design for the production of sawdust activated with 8000 tons/year capacity. Based on the calculation results, the type of *heater* is a *double pipe heat exchanger* (DPHE) with dimensions of 4×3 in², NPS 3, *schedule* number 40, inner pipe diameter of 3.068 in, outer diameter of pipe 3.5 in, pipe length of 20 ft, and a number of hairpins is 4 pieces. It is hoped that this *heater* design calculation can be used as a reference for the design of heat exchanger equipment requirements in chemical plant design that produces sawdust activated carbon with 8000 tons/year capacity.

Keywords: *double pipe heat exchanger, heater, activated charcoal, pyrolysis*

1. PENDAHULUAN

Meningkatnya industri pengolahan kayu yang berkembang berdampak pada banyaknya limbah yang dihasilkan salah satunya adalah serbuk kayu. Serbuk kayu adalah limbah yang diperoleh dari hasil penggergajian kayu yang menggunakan mesin maupun manual. Di setiap depot kusen atau pabrik pengolahan kayu sering dijumpai sisa penggergajian

Corresponding author: Ari Susanti

Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang

Jl. Soekarno-Hatta No. 9, Malang 65141, Indonesia

E-mail: ari.susanti@polinema.ac.id



yang merupakan limbah serbuk kayu. Limbah serbuk gergaji kayu menimbulkan masalah dalam penanganannya, yaitu dibiarkan membusuk, ditumpuk, dan dibakar yang dapat berdampak negatif terhadap lingkungan. Serbuk kayu relatif murah dan mudah didapatkan. Serbuk kayu pada umumnya hanya digunakan sebagai bahan bakar yang dapat digantikan sebagai minyak tanah, media tumbuh untuk tanaman hias atau dibuang begitu saja. Salah satu upaya yang ditempuh untuk mengatasi masalah limbah ini adalah dengan memanfaatkannya menjadi karbon aktif [21].

Proses pembuatan karbon aktif dari serbuk gergaji kayu memiliki beberapa tahapan proses yaitu tahap *pre-treatment*, karbonisasi atau pirolisis, dan aktivasi. Pada penelitian ini dipilih metode pirolisis karena nilai kalor yang dihasilkan lebih tinggi dibandingkan dengan metode karbonisasi. Pada penelitian sebelumnya dihasilkan perbandingan nilai kalor hasil pirolisis yaitu sebesar 5726,1789 Cal/gram dan karbonisasi 3418,9846 Cal/gram jadi nilai kalor yang tertinggi adalah hasil proses pirolisis [16]. Selain itu hasil pirolisis berupa tiga jenis produk yaitu padatan (*charcoal/arang*), gas (*fuel gas*) dan cairan (*bio-oil*), sedangkan karbonisasi menghasilkan tar, asam pyroligneus dan gas mudah terbakar sebagai hasil produk samping [16]. Pada tahap *pre-treatment* dilakukan pengeringan pada bahan baku. Bahan baku karbon aktif berupa serbuk gergaji dari gudang penyimpanan akan dialirkan menggunakan *screw conveyor* menuju *rotary dryer* untuk dikeringkan hingga kadar air nya mencapai 5% dari berat total serbuk gergaji. Pengeringan serbuk gergaji pada *rotary dryer* dibantu oleh *heater* yang bertujuan untuk memanaskan udara kering hingga suhu 120°C sehingga dapat membantu kinerja *rotary dryer* dalam proses pemanasan [7].

Komponen-komponen yang perlu untuk dilakukan proses pemanasan pada penelitian ini yaitu serbuk gergaji kayu. Kandungan yang ada didalam serbuk gergaji kayu meliputi lignin, selulosa, dan hemiselulosa yang berpotensi untuk dijadikan karbon aktif [17]. Manfaat karbon aktif dapat digunakan sebagai adsorben untuk menyerap kadar logam dan iodium. Karbon aktif ini dapat digunakan sebagai penyerap logam berat, seperti Ni, Zn, Cu, Fe, Co, Mn dan lain sebagainya [9]. Penelitian tentang limbah serbuk gergaji kayu yang digunakan sebagai karbon aktif pernah dilakukan, yaitu diproses secara fisika dan kimia, menghasilkan mutu karbon aktif yang memenuhi standar Indonesia dan Amerika Serikat [19].

Desain *heater* ini diharapkan dapat membantu proses pengeringan serbuk gergaji kayu sebelum dilakukan proses pengarangan, karena kondisi serbuk gergaji kayu berpengaruh pada kualitas produk yang dihasilkan. Semakin kering serbuk gergaji kayu maka kualitas karbon aktif akan semakin baik. Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan desain *pre-heater* dengan menggunakan sistem *continue* yang digunakan sebagai pemanasan awal dengan memanfaatkan gas buang reaktor pirolisis untuk memanaskan sampah plastik sampai berubah kedalam bentuk cairan. Desain *pre-heater* digunakan untuk mereduksi perbedaan temperatur yang tinggi dan mereduksi pemakaian energi, karena pada saat proses pemanasan relatif tidak merata dapat mengakibatkan perubahan fisik suatu materi tegangan sisa yang tinggi dan distorsi [13]. Jadi desain *heater* yang digunakan tidak bisa asal pilih, karena ada beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam mendesain *heater* yaitu kondisi operasi, jenis komponen, dan massa dari komponen. Maka dari itu perlu desain yang sesuai untuk menaikkan suhu serbuk gergaji agar dapat membantu kinerja dari alat *rotary dryer* [7].

Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mendesain *heater* pada pra-prancangan pabrik kimia produksi karbon aktif dari serbuk gergaji kayu kapasitas 8000 ton/tahun. Desain *heater*

pada penelitian ini berdasarkan pada kondisi operasi yaitu suhu masuk fluida dingin berupa udara dengan suhu 27°C yang diharapkan dapat dinaikkan suhunya menjadi 60°C menggunakan fluida panas berupa *steam* dengan suhu masuk 130°C. Jenis *heater* yang digunakan adalah *double pipe heat exchanger* [7]. Tipe atau jenis *heater double pipe heat exchanger* (DPHE) atau penukar kalor pipa ganda banyak digunakan pada proses industri maupun pada penelitian, seperti proses pemanasan yaitu distilasi, evaporasi dan sterilisasi. Pemanas jenis ini memiliki peran penting pada berbagai proses rekayasa di industri. Penukar kalor pipa ganda terdiri dari dua pasang pipa yang sejajar, fluida yang mengalir di dalam pipa yaitu berupa fluida panas dan fluida dingin. Umumnya fluida yang mengalir melalui penukar kalor pipa ganda yaitu menggunakan aliran *counter current* (alirannya berlawanan arah). Jenis penukar kalor pipa ganda umumnya digunakan untuk laju aliran yang rendah dan suhu tinggi. Kelebihan dari jenis penukar kalor pipa ganda adalah konstruksi mudah, biaya pemasangan rendah dan *maintenance* yang mudah [12].

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1. Teknik Pengumpulan Data

Pada proses mendesain *heater* dibutuhkan data spesifikasi untuk mempermudah dalam perhitungan desain. Data ini dapat diambil pada data perhitungan neraca massa dan neraca energi yang sudah dihitung pada langkah sebelumnya. Dasar perhitungan ini menggunakan buku *Process Heat Transfer* oleh Kern [10]. Jenis komponen yang digunakan, laju alir fluida panas dan dingin, nilai kalor (Q), suhu masuk dan keluar fluida dingin dan panas, *fouling factor* yang ditentukan (R_d), dan *pressure drop* maksimal (Dp_{max}).

2.2. Perhitungan Penentuan Jenis *Heat Exchanger*

a. Menghitung ΔT_{LMTD}

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln \frac{(T_1 - t_2)}{(T_2 - t_1)}} \quad (1)$$

Dimana:

T_1 = suhu masuk fluida panas (°C)

T_2 = suhu keluar fluida panas (°C)

t_1 = suhu masuk fluida dingin (°C)

t_2 = suhu keluar fluida dingin (°C)

b. Menghitung luas perpindahan panas (A_S)

Penentuan tipe *heat exchanger* yang digunakan membutuhkan perhitungan luas perpindahan panas. Ada 3 faktor yang dapat mempengaruhi *heat exchanger* dalam menerima panas, yaitu *overall heat exchanger coefficient* (U_d), luas perpindahan panas (A_S), dan perbedaan suhu rata-rata (ΔT_{LMTD}), dari 3 faktor memiliki keterkaitan yaitu:

$$Q = U_d \times \Delta T_{LMTD} \times A \quad (2)$$

Jadi untuk mendapatkan nilai luas perpindahan panas digunakan persamaan berikut:

$$A_S = \frac{Q}{U_d \times \Delta T_{LMTD}} \quad (3)$$

Dimana:

A_s = luas permukaan perpindahan panas (ft^2)

Q = nilai kalor yang dilepaskan/diterima (W)

ΔT_{LMTD} = selisih suhu rata-rata ($^{\circ}\text{C}$)

U_d = overall coefficient ($\text{W}/\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C}$)

Nilai U_d dipengaruhi dengan faktor pengotor. Tingginya faktor pengotor dapat menyebabkan semakin kecil nilai U_d atau (overall coefficient) karena akan terjadi endapan yang dibawa oleh fluida atau korosi pada alat. Nilai U_d atau (overall coefficient) dapat dilihat pada buku *Chemical Engineering Design: Principles, Practice and Economics of Plant and Process Design* oleh Gavin Towler [5].

c. Penentuan jenis *heat exchanger*

Jenis *heat exchanger* dapat ditentukan dengan perhitungan hasil luas perpindahan panas yang sudah dihitung dan berikut merupakan ketentuan jenis *heat exchanger* berdasarkan buku *Transport Processes and Separation Process Principles* oleh Geankoplis [6]:

Jika $A_s < 120\text{-}200 \text{ ft}^2$ maka jenis HE adalah DPHE

Jika $A_s > 120 \text{ ft}^2$ maka jenis HE adalah STHE

Jika $A_s > 350 \text{ ft}^2$ maka jenis HE adalah PHE

2.3. Perhitungan Desain Heat Exchanger

1. Menghitung *caloric temperature*

$$(T_c) = T_2 + F_c(T_1 - T_2) \tag{4}$$

$$(t_c) = t_1 + F_c(t_2 - t_1) \tag{5}$$

Nilai F_c didapatkan dari figure 17 *The Caloric Temperature Factor* buku *Process Heat Transfer* oleh Donald Q. Kern hal 827 [10].

2. *Trial* ukuran DPHE

Selanjutnya melakukan *trial* DPHE, panjang pipa dapat menggunakan beberapa pilihan yaitu 12ft, 15ft, 20ft, lalu *trial* dapat dilakukan dengan menghitung menggunakan Tabel 1 dengan acuan pada buku *Process Heat Transfer* oleh Donald Q. Kern [10]. Data yang akan digunakan pada *trial* menggunakan perhitungan *Reynold Number*, faktor panas, dan *coefficient overall*.

Tabel 1. Luas Area dan Diameter *Double Pipe Heat Exchanger*

Ukuran DPHE (in^2)	Luas Area (in^2)		Diameter equivalen anulus (in)	
	Annulus	Pipa	de	de'
2 x 1 ¼	1,19	1,5	0,915	0,4
2 1/2 x 1 ¼	2,63	1,5	2,02	0,81
3 x 2	2,93	3,35	1,57	0,69
4 x 3	3,14	7,38	1,14	0,53

Selanjutnya untuk menentukan dimensi ukuran pipa dapat dihitung menggunakan Tabel 2 yang mengacu pada buku *Process Heat Transfer* oleh Donald Q. Kern [10]

Tabel 2. Dimensi Ukuran Pipa

IPS (in)	Dop (in)	Sch	Dip (in)	ap (in ²)	a'' (ft ² /ft)	
					In	Out
1 ¼	1,66	40	1,38	1,5	0,345	0,362
		80	1,278	1,28		0,335
2	2,38	40	2,067	3,35	0,622	0,542
		80	1,939	2,95		0,508
2 ½	2,88	40	2,469	4,79	0,753	0,647
		80	2,323	4,23		0,609
3	3,5	40	3,068	7,38	0,917	0,804
		80	2,9	6,61		0,76
4	4,5	40	4,026	12,7	1,178	1,055
		80	3,826	11,5		1,002

Dari data *trial* yang sudah diketahui maka didapatkan perhitungan berikut:

a) Evaluasi perpindahan panas

Fluida yang mempunyai laju alir lebih besar berada pada bagian pipa, sedangkan fluida yang mempunyai laju alir lebih kecil berada pada bagian annulus.

Perhitungan awal yang perlu dilakukan yaitu menghitung N_{re} dan G_{an} pada fluida panas (*steam*) menggunakan persamaan berikut:

$$N_{re} = \frac{de \times Gan}{\mu (cps) \times 2,42} \quad (6)$$

Untuk menghitung G_{an} pada annulus dapat menggunakan persamaan berikut:

$$G_{an} = \frac{mass\ flow}{a_{an}} \quad (7)$$

Selanjutnya menghitung N_{re} dan G_{ap} pada fluida dingin (udara) menggunakan persamaan berikut:

$$N_{re} = \frac{dip \times Gap}{\mu (cps) \times 2,42} \quad (8)$$

Untuk menghitung G_{ap} pada pipa dapat menggunakan persamaan berikut:

$$G_{ap} = \frac{mass\ flow}{a_p} \quad (9)$$

Selanjutnya menghitung koefisien perpindahan panas pada annulus dengan persamaan berikut:

$$h_o = j_H \left(\frac{k}{De} \right) \left(\frac{c\mu}{k} \right)^{\frac{1}{3}} \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0,14} \quad (10)$$

Penentuan μ_w dapat dilakukan dengan persamaan t_w (°F) seperti berikut:

$$t_w (hot\ fluid) = t_c + \frac{h_{io}}{h_{io} + h_o} (T_c - t_c) \quad (11)$$

Lalu penentuan koefisien perpindahan panas pada pipa dengan persamaan berikut:

$$h_i = j_H \left(\frac{k}{Di} \right) \left(\frac{c\mu}{k} \right)^{\frac{1}{3}} \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0,14} \quad (12)$$

$$h_i = j_H \left(\frac{ID_{tube}}{OD_{tube}} \right) \quad (13)$$

b) Perhitungan *Clean Overall Coefficient* (U_c)

Clean overall coefficient (U_c) adalah koefisien perpindahan panas ketika alat penukar panas dalam keadaan bersih serta belum adanya endapan atau kotoran [15]. U_c dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$U_c = \frac{h_{i0} \times h_o}{h_{i0} + h_o} \quad (14)$$

d. Perhitungan *Design Overall Coefficient* (U_d)

Design Overall Coefficient (U_d) adalah koefisien perpindahan panas untuk permukaan kotor. Koefisien perpindahan panas dapat dipengaruhi oleh faktor pengotoran [3]. U_d dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\frac{1}{U_d} = \frac{1}{U_c} + R_{d \min} \quad (15)$$

e. Perhitungan *required surface and required length*

Required surface dan *required length* perlu dihitung untuk mengetahui apakah dimensi *heat exchanger* telah sesuai dengan yang diinginkan.

$$A_s = \frac{Q}{U_d \times \Delta T_{LMTD}} \quad (16)$$

$$L = \frac{A_s}{a''} \quad (17)$$

f. Menghitung *actual design*

$$A_{actual} = L_{baru} \times a'' \quad (18)$$

$$U_{D \text{ actual}} = \frac{Q}{A_{actual} \times \Delta T_{LMTD}} \quad (19)$$

g. Evaluasi *fouling factor* (R_d)

$$R_d = \frac{U_c - U_d}{U_c \times U_d} \quad (20)$$

Fouling factor atau *dirty factor* (R_d) memiliki ketentuan sebagai berikut:

Jika R_d hitung = R_d yang ditentukan maka desain sangat baik

Jika R_d hitung > 5-10% dari R_d yang ditentukan maka desain dapat diterima

Jika R_d hitung >> R_d ditentukan maka desain belum sesuai

Jika R_d hitung < R_d ditentukan maka desain belum sesuai

Dimana jika R_d hitung belum sesuai dengan R_d ketentuan maka perlu dilakukan *trial* ukuran DPHE ulang hingga ditemukan R_d yang sesuai.

h. Perhitungan *Pressure Drop*

Perhitungan *pressure drop* pada annulus dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\Delta P_a = \frac{(\Delta F_a + \Delta F_t) \rho}{144} \quad (21)$$

Perhitungan *pressure drop* pada pipa dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan :

$$\Delta P_p = \frac{(\Delta F_p) \rho}{144} \quad (22)$$

Dimana :

$$F_t = n \left(\frac{v^2}{2g} \right) \quad (23)$$

$$v = \frac{G_{an}}{3600\rho} \quad (24)$$

$$\Delta F_a = \frac{4 \times f \times G_{an}^2 \times t}{2g \times \rho^2 \times D' e} \quad (25)$$

$$\Delta F_p = \frac{4 \times f \times G_p^2 \times t}{2g \times \rho^2 \times Dt} \quad (26)$$

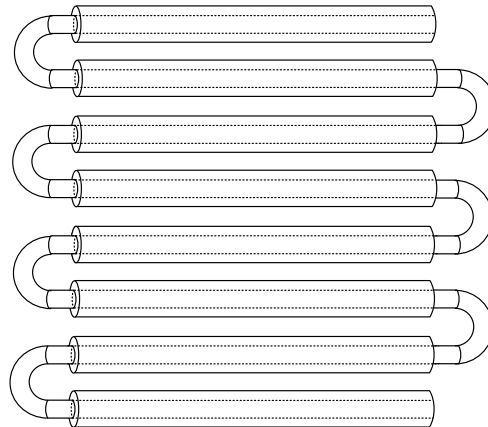
Terdapat ketentuan *pressure drop* yaitu jika nilai fluida yang dialirkan memiliki fase gas maka ΔP harus < 2 psi, sedangkan jika nilai fluida yang dialirkan memiliki fase cair maka ΔP harus < 10 psi. Jika *pressure drop* pada perhitungan tidak sesuai dengan nilai tersebut maka butuh dilakukan *trial* kembali sehingga didapatkan nilai *pressure drop* yang sesuai [4].

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil rancangan *heater* yang didapat menggunakan perhitungan diatas untuk pemanasan udara pada proses pembuatan karbon aktif didesain menggunakan *software Microsoft Visio* versi 2016 pada Gambar 1. Tujuan dalam perancangan *heater* ini adalah untuk mendapatkan desain alat *heater* yang sesuai dengan kebutuhan yaitu memanaskan udara yang akan masuk pada *rotary dryer*. Proses pemanasan pada tahap ini membantu kinerja *rotary dryer* dalam menaikkan suhu udara dari suhu 27°C hingga mencapai 60°C , sehingga pada saat proses pengeringan serbuk gergaji kayu tidak membutuhkan waktu yang lama [14].

Desain dan kapasitas *heater* pada Tabel 3 didapatkan dari hasil perhitungan menggunakan *Microsoft Excel* versi 2016. Perancangan *heater* ini menggunakan tipe *double pipe heat exchanger* (DPHE) hal ini berdasarkan pada besar luas penampang perpindahan panas yaitu sebesar $86,789 \text{ ft}^2$ sesuai dengan ketentuan, jika luas penampang perpindahan panas atau $A_s < 120 \text{ ft}^2$ maka digunakan *heat exchanger* dengan tipe *double pipe heat exchanger* [10]. Bahan pipa yang digunakan yaitu *carbon steel* karena mempunyai kekuatan yang tinggi, lebih mudah dibentuk, mudah dikerjakan menggunakan proses permesinan,

mudah disambung dengan pengelasan dan harga yang relatif terjangkau [20]. Pada perancangan ini fluida yang dialirkan didalam annulus adalah *steam* dan pada pipa adalah udara, pemilihan ini berdasarkan pada ketentuan bahwa fluida yang memiliki laju alir massa paling besar akan dialirkan didalam pipa, begitu sebaliknya jika fluida memiliki laju alir massa yang lebih kecil maka akan dialirkan didalam annulus [4].



Gambar 1. Desain *heater tipe double pipe heat exchanger* dengan 4 buah *hairpin* terinspirasi dari buku *Process Heat Transfer* oleh Donald Q. Kern [10].

Tabel 3. Dimensi *cooler tipe double pipe heat exchanger* yang dihitung berdasarkan buku *Process Heat Transfer* oleh Donald Q. Kern [10].

Dimensi	Nilai
Ukuran DPHE	4 x 3 in ²
Nominal Pipe Size	3 in
Schedule	40
Diameter Luar Pipa	3,5 in
Diameter Dalam Pipa	3,068 in
Luas DPHE	86,789 ft ²
Panjang DPHE	159,979 ft
Jumlah <i>Hairpin</i>	4 buah
ΔP Annulus	0,0024 psi
ΔP Pipe	0,571 psi

Konfigurasi aliran *double pipe heat exchanger* dibagi menjadi 2 yaitu *co-current* dan *counter current*. Prinsip kerja *co-current* adalah fluida panas dan dingin masuk dengan aliran searah, kedua fluida masuk dan keluar pada bagian ujung penukar panas masing-masing dengan arah aliran yang searah. Sedangkan *counter current* fluida panas dan dingin masuk dengan berlawanan arah, kedua fluida masuk dan keluar pada bagian ujung penukar panas masing-masing dengan arah aliran yang berlawanan [1]. Pada pra-perancangan pabrik kali ini dipilih jenis konfigurasi aliran *counter current* karena konfigurasi aliran ini yang umum digunakan pada industri [15].

Trial ukuran *double pipe heat exchanger* pada pra-perancangan pabrik ini didapatkan 4 buah *hairpin* dengan *pressure drop* yang sudah memenuhi ketentuan yang sudah ditetapkan yaitu pada annulus (ΔPa) jika gas/uap harus <2 psi sedangkan untuk *pressure drop* pada pipa

(ΔP_p) jika fluida <10 psi. Hasil *pressure drop* didalam annulus yaitu 0,0024 psi dan didalam pipa yaitu 0,571 psi [10].

Besarnya nilai U_c ini dipengaruhi oleh besarnya nilai h_o dan h_{io} [11]. Nilai U_c yang didapatkan yaitu sebesar 30,2351 Btu/jam.ft².F. Sedangkan *Design Overall Coefficient* (U_d) menunjukkan mudah atau tidaknya panas yang pindah dari fluida panas menuju fluida dingin serta menunjukkan keadaan *heat exchanger* yang telah dioperasikan dan membentuk *scale* atau kerak yang menjadi hambatan dalam perpindahan panas [11]. Nilai U_d yang didapatkan yaitu sebesar 29,3478 Btu/jam.ft².F. Nilai koefisien U_d pasti lebih kecil dari nilai U_c , terdapat selisih dari kedua nilai koefisien tersebut hal ini dapat disebabkan oleh adanya *scale* atau kerak yang terbentuk selama proses perpindahan panas [8].

Nilai *Fouling factor* atau faktor pengotor merupakan salah satu cara untuk mengetahui batas nilai hambatan perpindahan panas pada *heat exchanger* agar dapat dioperasikan dengan normal sebelum dilakukan pembersihan serta menentukan waktu *maintenance* harus dilakukan. Jika nilai *fouling factor* lebih besar dari nilai desainnya maka perpindahan panas didalam alat *heat exchanger* belum memenuhi kebutuhan prosesnya dan perlu segera dilakukan pembersihan. Besarnya nilai *fouling factor* akan menyebabkan penurunan efisiensi perpindahan panas dan nilai penurunan tekanan semakin tinggi. Hal ini dapat menyebabkan menurunnya kinerja dari alat *heat exchanger* [18]. Penurunan ini dapat disebabkan adanya kotoran, endapan lumpur, atau *scale* hasil dari korosi [2]. Hasil perhitungan yang didapatkan nilai 0,001 Btu/jam.ft².F dan dimana nilai ini telah sesuai dengan R_d yang ditentukan sehingga dapat diketahui bahwa *heat exchanger* dalam keadaan layak dioperasikan dan aman tanpa ada hambatan pada permukaan penukar panas

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil perhitungan desain *heater* untuk menaikkan suhu udara yang akan digunakan dalam proses selanjutnya yaitu *rotary dryer* dengan suhu awal udara sebesar 27°C yang diharapkan dapat dinaikkan suhunya menjadi 60°C pada pra-prancangan pabrik kimia produksi karbon aktif dari serbuk gergaji kayu kapasitas 8000 ton/tahun didapatkan desain *heater* yaitu tipe *double pipe heat exchanger* dengan dimensi ukuran 4×3 in², NPS 3, nomor schedule 40, diameter dalam pipa 3,068 in, diameter luar pipa 3,5 in, panjang pipa 20 ft, dan jumlah *hairpin* 4 buah, dan *fouling factor* sebesar 0,001 Btu/jam.ft².F.

Untuk penelitian lebih lanjut dapat dilakukan simulasi dengan menggunakan aplikasi seperti *hysys* atau *chemcad* untuk mengevaluasi kinerja alat agar lebih optimal.

REFERENSI

- [1] A. Ketut, Surya. I, Tenaya. I, "Analisis Efektivitas Perpindahan Panas pada Alat Penukar Panas Jenis Water to Water," Universitas Udayana, 2022.
- [2] A. Malwindasari, "Optimisasi Fouling Resistance pada Shell and Tube Heat Exchanger Menggunakan Polley Model dan Rain Water Optimization," Institut teknologi Sepuluh Nopember, 2017.
- [3] N. Hendrawati N, "Studi Perhitungan Heat Exchanger Tipe Double Pipe sebelum Reaktor pada Pra-Rancangan Pabrik Kimia Cucumber Soap Kapasitas Produksi 6.300 Ton/Tahun," Politeknik Negeri Malang, 2022.
- [4] Branen. Carl R, "Rules of Thumb for Chemical Engineers," 4th ed, Elsevier, UK, 2005.

- [5] G. Towler, "Chemical Engineering Design: Principles, Practice and Economics of Plant and Process Design," Elsevier, ch. 12, hal.797, 2008.
- [6] Geankoplis, C.J., "Transport Processes and Unit Operations," 4th Edition, Prentice-Hall International Inc., New York, 1983.
- [7] Hapsari. Adenia, Mir'atul. J, Nabilla. S, Wahyu. B, Ari. S, "Laporan Pra Rancangan Pabrik Kimia Produksi Karbon Aktif dari Serbuk Gergaji Kayu Kapasitas 8000 Ton/Tahun, " Politeknik Negeri Malang, 2023.
- [8] I. E. Rahayu, S. N. Izzah, dan M. R. Hidayat, "Analisis Kinerja Heat Exchanger Pada Preheater CDU V di Kilang RU V Balikpapan," *Jurnal Teknik Kimia Vokasional*, vol.1, no.1, hal. 1-9, 2021.
- [9] M. Kalavathy., H, Karthikeyan, T, Rajgopal, S, & Miranda, L. R, "Kinetic and isotherm studies of Cu(II) adsorption onto H3PO 4-activated rubber wood sawdust," *Journal of Colloid and Interface Science*, 292(2), hal.354–362, 2005.
- [10] Kern, D.Q, "Process Heat Transfer, " *McGraw Hill International Book Company*, Japan, 1983.
- [11] M. Sebayang, "Evaluasi Kinerja Heat Exchanger Dengan Metode Fouling Faktor Di Laboratorium Satuan Operasi PTKI Medan," *Ready Star*, vol. 2, no. 1, hal. 11–15, 2019.
- [12] M, A. El., Azzeddine Lakhnizi., S. Saadeddine & A. Ben, "Energy Conversion and Management. Numerical Design and Investigation of Heat Transfer Enhancement and Performance for an Annulus with Continuous Helical Baffles in a Double Pipe Heat Exchanger, " 133, hal. 76-86, 2017.
- [13] M. Eka, Sitinjak. K. G, "Perancangan Preheater pada Sistem Pirolisis Kapasitas 20 Kg/Jam," Universitas Pancasila Jakarta, 2021.
- [14] N, S, Aminah, "Arang Aktif Serbuk Gergaji Kayu Jati (*Tectona Grandis* L.F) sebagai Bahan Adsorben pada Pemurnian Minyak Jelantah, " Universitas Tadulako, Palu, 2020.
- [15] R. Robiyanysura, U. A. Gani, dan M. Taufiqurrahman, "Analisis Efektivitas Laju Perpindahan Panas Alat Penukar Kalor Tipe Double Pipe," *JTRAIN: Jurnal Teknologi Rekayasa Teknik Mesin*, vol. 2, no, 2, hal. 97-104, 2021.
- [16] R. Kemas, S. Joko., "Perbandingan Pembakaran Pirolisis dan Karbonisasi pada Biomassa Kulit Durian Terhadap Nilai Kalori, " Universitas Muhammadiyah Metro, Lampung, 2016.
- [17] K. Sa'diyah, P. Hermien. S, Nanik. H, "Pemanfaatan Serbuk Gergaji Kayu sebagai Karbon Aktif melalui Proses Pirolisis dan Aktivasi Kimia," Politeknik Negeri Malang, 2021.
- [18] S. S. P, Putri. R. A, "Efisiensi Perpindahan Panas pada Alat Penukar Kalor Tipe Cangkang dan Pipa PT Petrokimia Gresik, " Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur, 2023.
- [19] S. D, Hendrawan. A, "Synthesis of activated carbon using mixed vacuum residue and castor oil," *AIP Conference Proceedings*, 2019.
- [20] Tiawan, "Kemampuan Mahasiswa dalam Memilih Material pada Pembuatan Karya Teknologi," Universitas Negeri Yogyakarta, 2014.
- [21] N. Zulkifli., Rihayat. T, Suryani. S, Facraniah. F, Habibah. U, Audina. N, Fauzi. T, Nurhanifa. N, Zaimahwati. Z, & Rosalina. R, "Purification process of jelantah oil using active chorcoal kepok's banana. *Journal AIP Conference Proceedings*, " 20(49), hal. 1–6, 2018.