

ANALISA DESAIN MESIN PENGERING AMPAS TAHU DENGAN MEMANFAATKAN PANAS GAS BUANG DARI BOILER

Syawaluddin¹, Hasan Basri², Ery Diniardi¹, M. Al-Haramain¹, Anwar Ilmar Ramadhan^{1,*}

¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jakarta

²Jurusan Teknik Otomotif dan Alat Berat, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jakarta

*Email: syawaluddin@ftumj.ac.id

ABSTRAK

Alat pengering adalah suatu alat yang dapat memungkinkan terjadinya penguapan air ke udara karena perbedaan kandungan uap air antara bahan yang dikeringkan dengan udara di sekitarnya. Dalam dunia perindustrian, teknologi pengeringan terus berkembang sejalan dengan semakin beragamnya tuntutan dalam suatu proses produksi. Kecenderungan umum sekarang ini adalah produksi besar dengan variasi produk terbatas dengan memerlukan unit-unit produksi yang besar serta arus bahan yang berkelanjutan, sehingga dalam proses pengeringan, diperlukan dasar dari pengering industri. Pada proses pengeringan cepat dan tepat, luas tempat yang diperlukan minimum, buruh minimum, efisiensi setinggi mungkin, serta kualitas produksi terjamin. Dalam penelitian ini akan direncanakan suatu alat pengering *tray* yang akan digunakan untuk mengeringkan ampas tahu dengan memanfaatkan panas gas buang dari boiler. Pada perencanaan ini aspek yang diperhatikan adalah analisa termal, rancang bangun mekanik, serta rancang bangun produksi. Sehingga dari perencanaan ini diharapkan mampu menghasilkan suatu alat pengering yang baik dari segi termal serta relatif murah dari segi ekonomi.

Kata Kunci: *pengeringan, efisiensi, gas buang, alat pengering, termal*

ABSTRACT

A drying apparatus is a device capable of allowing the evaporation of water into the air due to the difference in the moisture content between the material being dried with the surrounding air. In the industrial world, drying technology continues to grow in line with the increasingly diverse demands in a production process. The general trend today is that of large production with limited product variation by requiring large production units as well as continuous material flow, so that in the drying process, the base of an industrial dryer is needed. In the process of rapid and precise drying, the minimum required area minimum, minimum labor, the highest possible efficiency, and the quality of production is guaranteed. In this research will be planned a tray dryer which will be used to dry the tofu pulp by utilizing the heat of the exhaust gas from the boiler. In this planning aspects to be considered were thermal analysis, mechanical design, and production design. So, from this planning were expected to produce a good dryer in terms of thermal and relatively inexpensive in term of economy.

Keywords: drying, efficiency, flue gas, dryer, thermal

1. PENDAHULUAN

Krisis ekonomi melanda Bangsa Indonesia mengakibatkan banyak industri yang tidak dapat lagi berproduksi dan akhirnya gulung tikar. Hal ini dikarenakan masih banyak sekali industri yang ternyata masih mengimpor sebagian besar bahan baku produksinya, tak terkecuali industri peternakan. Dalam industri peternakan salah satu faktor yang juga harus diperhatikan adalah tersedianya pakan ternak tambahan yang cukup, baik dari segi kualitas maupun kuantitasnya. Selama ini berbagai pakan ternak tambahan, sebagian besar adalah masih produk impor. Sehingga pada saat

ketidak stabilan perekonomian seperti sekarang ini, otomatis harganya menjadi sangat tinggi dan akhirnya tidak dapat lagi terjangkau oleh sebagian industri peternakan nasional. Oleh karena itu para peternak mulai mencari alternatif pakan ternak tambahan lain yang harganya lebih murah dan terjangkau, dan tentunya dapat mengurangi pakan ternak tersebut. Pakan ternak tambahan, dalam hal ini yang terbentuk dari *pellet*, dinilai berkualitas bila mengandung berbagai bahan yang disebut suplemen dengan kandungan-kandungan seperti

protein, vitamin, kalsium dan sebagainya yang sesuai dengan kebutuhan ternak.

Dalam penelitian akan mengangkat ampas tahu yang akan dikeringkan dengan suatu alat pengering yang akan dirancang sesuai dengan panas yang dikeluarkan dari alat pemanas udara. Ampas tahu yang sudah dikeringkan ini ternyata mempunyai kadar protein yang cukup tinggi sebagai alternatif suplemen berprotein pada *pellet*. Selama ini ampas tahu diproses sebagai bahan dasar pembuatan oncom atau dapat dijadikan sebagai pakan ternak. Tetapi ampas tahu tidak bisa dikonsumsi secara langsung sebagai pakan ternak lain seperti ayam, ikan, sapi (penggemukan) dan babi, karena ampas tahu yang selesai diproduksi hasilnya masih dalam keadaan cukup basah dan juga tidak dapat disimpan terlalu lama karena mudah membusuk dan akan menimbulkan bau yang tidak sedap. Oleh karena itu ampas tahu tersebut perlu diubah kedalam bentuk yang lebih kering sehingga dengan demikian dibutuhkan sebuah alat pengering ampas tahu tersebut.

Dengan demikian bahwa alat pengering tersebut haruslah hemat dalam pembuatan, pemakaian maupun perawatan dan produknya tetap berkualitas, maka dirancanglah sebuah alat pengering ampas tahu dimana kebutuhan energi panas dalam proses pengeringan didapat dari udara luar tersebut. Dengan memanfaatkan panas gas buang tersebut maka alat pengering dapat dikatakan sangat hemat dalam pemakaian energi. Dengan menggunakan *pellet* yang berasal dari ampas tahu ini tentunya memberi keuntungan baik dari produsen maupun konsumennya.

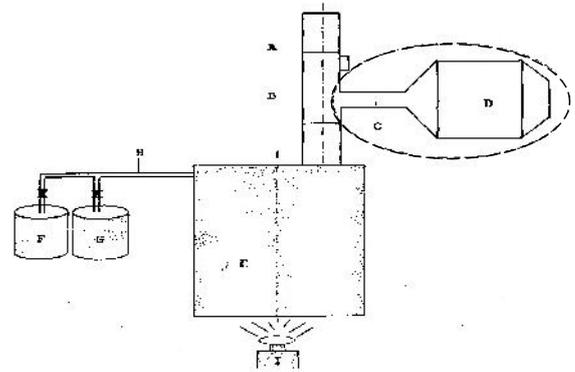
2. TINJAUAN PUSTAKA

Ampas Tahu Sebagai Pakan Ternak Tambahan

Proses pertama pembuatan tahu adalah dengan terlebih dahulu merendam kacang kedelai dalam suatu tempat sampai mengembang lalu digiling sampai halus, setelah itu direbus dalam satu wajan dengan menggunakan uap air yang berasal dari boiler, setelah direbus beberapa saat kemudian diperas dengan perasan kain untuk diambil santannya. Hasil perasan inilah yang nantinya akan diolah menjadi tahu,

sedangkan sisa perasan yang disebut sebagai ampas tahu dapat dijadikan oncom atau untuk pakan ternak. Menurut hasil penelitian Lab. Termodinamika (LTMP-Puspipetek), ampas tahu cukup potensial sebagai bahan baku alternatif tambahan makanan ternak, hal ini disebabkan karena ampas tahu memiliki kandungan gizi serta protein yang cukup tinggi, ampas tahu yang berprotein tinggi ini dapat dikeringkan kedalam bentuk suplemen agar bertahan lama dan dapat diproses lebih lanjut menjadi pellet.

Ampas tahu yang baik untuk dijadikan sebagai suplemen adalah ampas tahu yang mempunyai kadar air 13%-15% dan dapat dikeringkan dengan suhu maksimum 60°C agar tidak mengurangi atau menghilangkan kadar proteinnya.

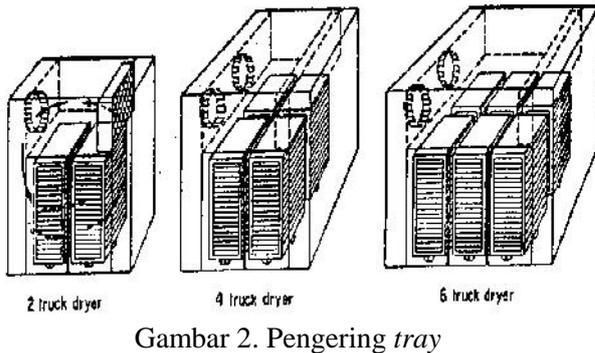


Gambar 1. Keterangan : (a) cerobong asap; (b) alat pengukur panas; (c) pipa udara panas; (d) alat pengering ampas tahu; (e) boiler; (f & g) wajan; (h) pipa uap; (i) tungku

Pengering Tray

Benda yang akan dikeringkan diletakkan diatas baki / laci (*batch*) dengan dasar tertutup ataupun berlubang dengan udara panas mengalir secara paralel atau menembus benda. Kondisi pengeringan cenderung merata karena arus massa udara tinggi dan tingkat pengeringan rendah.

Kelebihan pengeringan *tray* yaitu mampu untuk menangani produk yang rapuh, tidak terdapat kehilangan produk selama pengeringan, ruang yang dibutuhkan kecil, mudah dibersihkan serta kontrol yang mudah terhadap kondisi pengeringan. Kelemahannya yaitu butuh banyak tenaga kerja dan waktu pengeringan yang lama.



Gambar 2. Pengering tray

Mekanisasi Pengeringan

Pada proses pengeringan termal suatu benda padat basah terjadi dua proses secara bersamaan.

Perpindahan panas adalah proses perpindahan energi dalam bentuk panas yang terjadi karena adanya perbedaan temperatur dalam suatu media atau antara media satu dengan lainnya. Tujuannya untuk menaikkan temperatur benda padat basah dan menguapkan kadar lembabnya. Perpindahan panas dibagi menjadi tiga:

a. Perpindahan Panas Konduksi

Yaitu proses perpindahan panas dari daerah yang bersuhu tinggi ke daerah yang bersuhu lebih rendah dalam suatu media diam. Mekanisme konduksi dapat dipandang sebagai suatu perpindahan energi dari partikel-partikel yang lebih aktif (pada daerah yang bersuhu tinggi) terhadap partikel-partikel yang kurang aktif (pada daerah yang bersuhu lebih rendah) yang terjadi secara acak diakibatkan oleh gradien temperatur.

Laju perpindahan panas konduksi pada dinding datar dinyatakan dengan hukum fourier :

$$q = -k \cdot A \frac{dT}{dx}$$

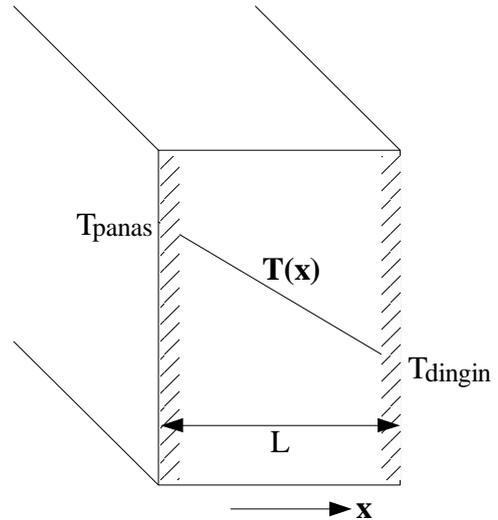
Dimana :

q = Laju perpindahan panas konduksi (W).

K = Konduktivitas termal fluida ($W/m^{\circ}C$).

A = Luas bidang aliran kalor (m^2).

$\frac{dT}{dx}$ = Gradien temperatur pada dinding ($^{\circ}C/m$).



Gambar 3. Perpindahan panas konduksi

b. Perpindahan Panas Konveksi

Perpindahan panas ini terdiri dari dua mekanisme fisik, yaitu perpindahan panas akibat dari adanya suatu gerakan molekul dari dinding ke fluida diam yang melekat pada dinding dan perpindahan panas akibat adanya gerakan fluida. Dalam perpindahan panas konveksi kontribusi dominan disebabkan karena adanya gerakan curah dari partikel-partikel fluida.

Laju perpindahan panas konveksi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan Newton :

$$q = h_w \cdot A (T_w - T_{\infty})$$

Dimana :

q = Laju perpindahan panas konveksi persatuan luas ($W/m^{\circ}C$).

h_w = Konveksi perpindahan panas konveksi ($W/m^{\circ}C$).

A = Luas bidang aliran kalor ($^{\circ}C$). [1]

T_w = Temperatur dinding ($^{\circ}C$).

T_{∞} = Temperatur fluida ($^{\circ}C$).

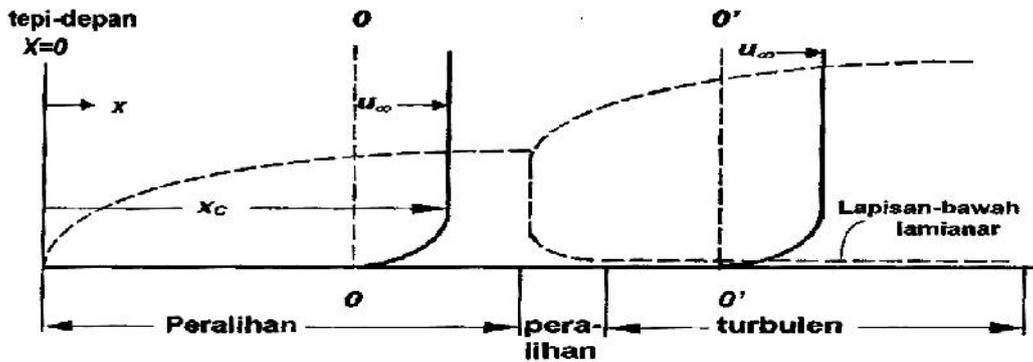
c. Perpindahan Panas Radiasi

Radiasi termal adalah energi yang diemisikan oleh suatu benda kesekitarnya akibat adanya perbedaan temperatur. Energi dari medan radiasi ditransformasikan melalui gelombang elektromagnetik yang berasal dari energi dalam pada material yang memancar, sehingga perpindahan panas radiasi akan lebih efisien pada ruang hampa.

Lapisan Batas

Konsep lapisan batas dsapat diamati pada fluida yang mengalir pada suatu permukaan pelat datar (gambar 3). Pada daerah dipermukaan pelat, gerakan partikel fluida akan diperlambat oleh gaya viskos, sehingga gaya tersebut dapat melekat dan kecepatan nol relatif terhadap

batas. Semakin jauh dari pelat, pengaruh viskositas akan semakin berkurang sehingga kecepatan fluida diluar lapisan batas akan sama dengan kecepatan aliran bebasnya (V_{∞}) sehingga gradien kecepatan dapat diabaikan.



Gambar 4. Profil-profil kecepatan untuk kecepatan batas laminar dan turbulen dalam aliran melewati pelat dasar.

Dalam analisa perpindahan panas konveksi, sangat penting diketahui apakah lapisan batas yang terbentuk laminar atau turbulen. Untuk menentukan lapisan batas ini digunakan bilangan tak berdimensi *Reynold* (Re) yang menyatakan rasio gaya inersia fluida dan gaya *viskos*.

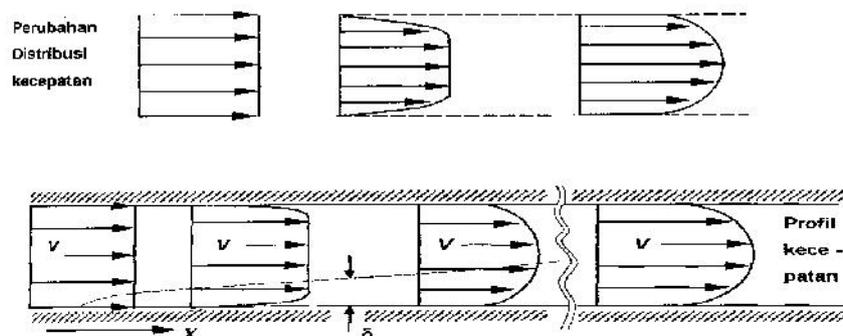
$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot L}{\mu}$$

Dimana:

- ρ =Rapat massa fluida (kg/m^3).
- V = kecepatan fluida (m/s).
- L = Panjang lintasan (m).
- μ =Kekentalan fluida ($kg/m s$)
- Re =Bilangan Reynold.

Aliran Dalam

Aliran dalam terjadi bila fluida dibatasi oleh dinding pembatas, misalnya aliran dalam pipa atau aliran dalam saluran berpenampang persegi (lihat gambar 5). Pada aliran dalam dikenal istilah aliran berkembang penuh (*full developed flow*), yaitu suatu kondisi dimana karena pengaruh kekentalan pada aliran, maka profil kecepatan tidak mengalami perubahan bentuk dengan pertambahan [3] panjang.



Gambar 5. Aliran berkembang penuh pada pipa

Jika fluida mengalir pada suatu penampang saluran yang tidak silindris (*non circular duct*), diperlukan suatu panjang karakteristik yang disebut sebagai diameter hidrolis (D_h) yang didefinisikan sebagai rasio antara luas penampang melintang saluran dengan keliling basahannya. Pada pipa garis tengah hidrolisnya adalah diameter dalam pipa.

$$D_h = \frac{4A}{P}$$

Dimana :

D_h = Diameter hidrolis (m).

A = Luas penampang terbasahi (m^2).

P = Keliling terbasahi (m).

Koefisien Perpindahan Panas Konveksi

Bilangan *Nusselt*, Nu atau modulus *nusselt* (*Nusselt number*) adalah bilangan tanpa dimensi, dapat ditafsirkan secara fisik sebagai perbandingan gradien suhu yang langsung bersinggungan dengan permukaan terhadap suatu gradien suhu acuan $(T_w - T_\infty)/L$. dalam praktek, bilangan Nusselt merupakan ukuran perpindahan panas konveksi yang memudahkan, karena bila harganya telah diketahui, koefisien perpindahan panas konveksi (h_c) dapat dihitung dengan:

$$h_c = Nu \cdot \frac{k}{D}$$

dimana :

K = Konduktivitas termal fluida (W/mK)

D = Diameter (m)

Nu = Bilangan *Nusselt*

Kerugian Panas

Jika terdapat perbedaan temperatur pada suatu dinding dan pada kedua sisi dinding tersebut dialirkan fluida, maka mekanisme perpindahan panas yang terjadi adalah gabungan dari perpindahan panas konduksi dan perpindahan panas konveksi. Konveksi akan terjadi dari fluida panas ke salah satu dinding. Jika perpindahan panas terjadi dalam kondisi *steady-state* satu dimensi, tahanan termal yang terjadi dapat dianalogikan dengan tahanan listrik.

Tahanan termal konveksi dapat dihitung dengan persamaan Newton.

$$R_{t,conv} = \frac{T_w - T_\infty}{q} = \frac{1}{h \cdot A}$$

Dalam perencanaan alat pengering ini, pada alat penukar panas digunakan kipas tekanyang berfungsi mengatasi penurunan tekanan fluida kerja pada sisi selongsong, sehingga dalam pipa penghubung dan alat pengering terjadi perpindahan panas konveksi paksa, sedangkan diluar pipa dan alat pengering terjadi perpindahan panas konveksi bebas. [4]

Tahanan termal konduksi dapat dihitung dengan persamaan Fourier pada dinding silinder atau pipa:

$$q = -k \cdot A \cdot \frac{dT}{dx}$$

dimana A pada pipa, $A_r = 2 \cdot f \cdot r \cdot L$

$$q = -k \cdot 2fL \cdot \frac{dT}{dr}$$

$$\int_2^1 q dr = - \int_2^1 k \cdot A_r \cdot dT$$

$$\frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{k \cdot 2fL} = \frac{\Delta T}{q} = R_{t,cond}$$

Pada dinding datar

[5]

$$q = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_{tot}}$$

Dimana:

Pada pipa:

$$R_{tot} = \frac{1}{h_1} + \frac{\ln \frac{r_o}{r_i}}{k_w \cdot 2f \cdot L} + \frac{1}{h_2 \cdot A}$$

Pada dinding datar :

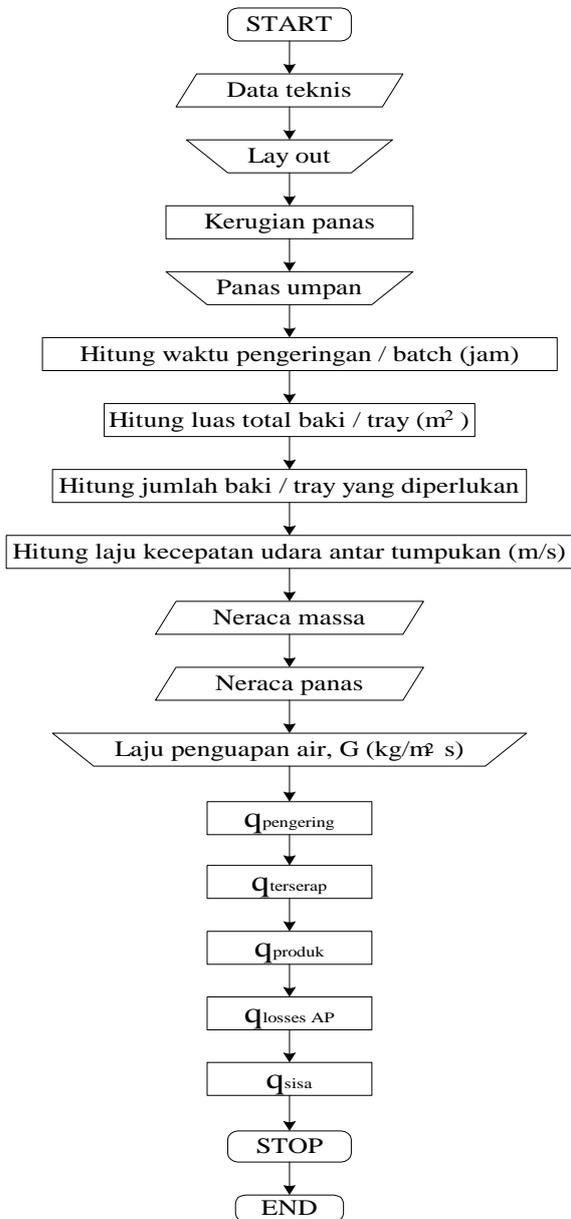
$$R_{tot} = \frac{1}{h_1 \cdot A} + \frac{x_2 - x_1}{K_w \cdot A} + \frac{1}{h_2 \cdot A}$$

Maka kerugian panas pada pipa dan alat pengering, q:

$$q = \frac{\Delta t}{R_{tot}} \text{ (W)}$$

3. METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini dilakukan sesuai dengan Gambar 6.



Gambar 6. Diagram alir penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Cerobong Gas Buang Boiler

Data teknis hasil pengukuran pada cerobong gas buang boiler pabrik tahu UD Sumber Djaya, Karawaci-Tangerang:

- Diameter dalam = 0,29 m.
- Luas penampang = 0,066 m².

- Tekanan uap air pada boiler = 3-5 bar.
- Temperatur gas buang. = 161 °C = 434 K.
- Kecepatan rata-rata gas buang = 6,66 m/s.

Alat Penukar Panas

Data teknis dan termal hasil rancangan alat penukar panas (HE) :

- Temperatur gas buang masuk = 161 °C = 434 K.
- Temperatur gas buang keluar = 120,79 °C = 393,79 K.
- Temperatur udara masuk = 42 °C = 315 K.
- Temperatur udara keluar = 84,2 °C = 357,2 K.
- Laju aliran massa udara keluar, m = 0,361 kg/s.
- Laju perpindahan panas, q_{HE} = 15203,65 W.
- Kerugian panas pada HE, q_{loses} = 160,494 W.

Rancangan Alat Pengering (Dryer)

Asumsi-asumsi pada perhitungan:

- Kondisi steady state (tunak).
- Aliran berkembang penuh (*fully developed flow*).
- Aliran tak mampu mampat (*incompressible flow*).
- Tidak terjadi perpindahan panas radiasi.

Pada pabrik tahu tempat pengambilan data penelitian, pabrik tersebut setiap harinya berproduksi selama 9 jam. Sehingga dalam perancangan alat pengering ini waktu pengeringan yang tersedia \pm 8 jam. Untuk satu kali produksi diperlukan rata-rata 2 top kg kacang kedelai siap giling. Rati 2 ton kacang kedelai yang diolah, hanya 30 % yang menjadi tahu sedangkan sisanya menjadi ampas. Adapun spesifikasi alat penering yang direncanakan adalah:

1. Kapasitas umpan yang direncanakan dalam sekali pakai = 30 kg.
2. Waktu pengeringan:
 - Asumsi waktu pengeringan = 1.5 jam.
 - Factor peningkatan skala = 2.0.
 - Waktu pengeringan komersial = 2.0 x 1.5 = 3 jam

- Asumsi waktu bongkar-muat bahan = 30 menit.
- Total waktu pengeringan = 3.5 jam.

Sehingga dalam sehari dapat dilakukan dua kali pengeringan dengan kapasitas produksi 60 kg/ hari. Sedangkan satu jam pertama dipergunakan untuk menunggu proses pemisahan sari kacang kedelai dengan ampasnya.

Dalam analisa perancangan ini untuk perhitungan teoritis menggunakan persamaan rumus yang umum, yang digunakan pada setiap elemen pembahasan. Persamaan tersebut dapat dirubah variabelnya sesuai dengan material atau penelitian yang dibahas (jika memiliki persesuaian dalam kebutuhan). Berikut ini adalah beberapa persamaan umum yang akan digunakan dalam perencanaan ini :

- Luas laluan udara antar tray
 $L = r \times 2 \text{ susun tray } \times l \times \text{jumlah tray}$
 Dengan :

$l = \text{lebar tray}$

- Laju aliran volume, Q

$$Q = \frac{m}{\dots}$$

- Luas sisi dalam pipa, A_1

$$A_1 = \frac{1}{4} f D_1^2$$

- Kecepatan udara dalam tray / pipa

$$V = \frac{Q}{A}$$

- Bilangan Reynold, Re

$$Re = \frac{\dots v D_1}{\dots}$$

- Dari grafik Re-Nu

$$Nu = \frac{h_c D_1}{k_{udara}} \quad h_c = \frac{N_u k_{udara}}{D_1}$$

[17]

- Laju kapasitas panas, c

$$\frac{1}{c} = \frac{\ln \frac{R_2}{R_1}}{2f K_{pipa} L} + \frac{1}{h_c 2f R_1 L}$$

- Kehilangan panas pada pipa

$$q_{loses} = (T_1 - T_2) c$$

Neraca Panas

- Pada air dalam benda padat basah Pemanasan dan penguapan

$$q = G \cdot A \cdot Cp_{air} \cdot \Delta t$$

Evaporasi

$$q = G \cdot A \cdot L_{air}$$

- Panas pada produk Solid

$$q = m_s \cdot Cp_s \cdot \Delta t$$

Air

$$q = m_a \cdot Cp_a \cdot \Delta t$$

Total beban panas pengeringan

$$q_{pengering} = \text{Pemanasan} + \text{Evaporasi} + \text{Penguapan} + \text{Solid} + \text{Air} \quad [13]$$

Panas keluar dengan udara

$$q_{terserap} = \text{Pemanasan} + \text{Evaporasi} + \text{Penguapan} \quad [14]$$

Panas keluar dengan produk

$$q_{produk} = \text{Solid} + \text{Air}$$

Kerugian Panas Pada Alat Pengering

Laju laluan udara dalam AP:

$$A = \text{Jumlah tray (Panjang tray } \times \text{ lebar tray)} \quad [15]$$

Diameter hidrolis

$$D_H = \frac{4A}{P} \quad [16]$$

Luas total dinding alat pengering:

$$A' = (\text{luas satuan tray } \times \text{ Jumlah tray}) + (A \times 2)$$

Laju kapasitas panas c

$$\frac{1}{c} = \frac{x_2 - x_1}{K_{zn} A} + \frac{1}{h_c A}$$

Kerugian panas pada AP

$$q_{losses} = (T_1 - T_2) c$$

[18]

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Alat pengering *tray* dengan 15 *batch* bersusun dua paralel.
2. Luas total *tray* yang diperlukan 7.5 m², luas persatuan *tray* 0.25 m² dengan jumlah *tray* sebanyak 30 buah.
3. Kapasitas produksi perproses pengeringan 30 kg atau 60 kg per hari.
4. Efisiensi termal alat pengering ini adalah 41.013 %.
5. Berdasarkan hasil perhitungan secara teoritis, mesin pengering ampas tahu ini kurang efektif bila hanya memanfaatkan panas gas buang *boiler* dikarenakan jumlah ampas tahu yang tersedia dengan kemampuan alat ini tidak sesuai.

Schweitzer, P.A., 1979, *Handbook of Separation Techniques for Chemical Engineering*, James Peter Associates Inc.

DAFTAR PUSTAKA

- Aruef, A., 1999, *Perencanaan Alat Penukar Panas Untuk Memanaskan Udara Dengan Memanfaatkan Panas Gas Buang Boiler*.
- Cabe, W.L.Mc. dan Smith, J.C., 2001, *Unit Operations of Chemical Engineering*, 4th, the McGraw-Hill Inc.
- Earle, R.L., 1969, *Unit operation in food processing*, Fakultas Mekanisasi dan Teknik Hasil Pertanian, IPB.
- Fedly, H.M.R., 1999, *Analisa alat pengering Batch pada proses pengolahan coklat*.
- Gardner, A.W., 1997, *Industrial Dryng*, Gulf Publishing company, Texas.
- Keey, R.B., 1975, *Dryng Principles and Practice*, Pergamon Press, Great Britain.
- Kreith, F., 1986, *Principles of Heat Transfer*, 3rd edition, Erlangga.
- Perry, R.H. dan Green, D.W., 1977, *Perry's Chemical Engineers handbook*, 7th edition, the McGraw-Hill Inc.
- Pits, D.R., Sissm, L.E. dan Jasifi, E., 2010. *Perpindahan Kalor*, Erlangga.
- Holman, J.P., 2001, *Heat Transfer*, 6 edition, the McGraw-Hill Inc, New York.
- Reynold, W.C. dan Parkins, H.C., 1991, *Thermodynamika Teknik*, edisi kedua, Erlangga.