



NO: 161 / 5 / BALAI RISET  
DAN STANDARISASI INDUSTRI

ATAK  
A241

**DEPARTEMEN PERINDUSTRIAN**  
**BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN INDUSTRI**



**PERENCANAAN DAN PEMBUATAN**  
**ALAT PENGERING KRUPUK**  
**UNTUK INDUTRI KECIL**



**BALAI PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN INDUSTRI**  
Jalan Jagir Wonokromo No. 360  
**SURABAYA**

**1986 / 1987**

## K A T A   P E N G A N T A R .

Berkat rahmat-Nyalah maka laporan Proyek 86/87 bidang konversi energi ini selesai disusun.

Adapun judul yang dipilih perencanaan dan pembuatan alat pengering krupuk untuk industri kecil. Dengan selesainya penyusunan laporan ini penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada :

- Dinas-Dinas Perindustrian di daerah Jawa Timur, yang telah memberikan kesempatan dan ijin penulis untuk melakukan study lapangan pada industri-industri kecil krupuk guna pencarian data, juga pada teman-teman sekerja yang telah membantu dalam penyelesaian laporan ini.

Karena penulis yakin bahwa tanpa bantuan mereka semua, penyusunan laporan ini akan memakan waktu yang lebih lama.

Mudah-mudahan laporan proyek 86/87 ini berguna bagi pembacanya dan menarik minat berbagai pihak untuk memperbaikinya.

Surabaya,   Maret 1987.

Penulis.

DAFTAR ISI.

Halaman.

KATA PENGANTAR . . . . .	i
DAFTAR ISI . . . . .	ii
B A B. I. P E N D A H U L U A N . . . . .	1
I.1. Latar Belakang Masalah	2
I.2. Pembatasan Masalah.	2
I.3. Sistematika Pembahasan	3
B A B. II. ALAT PEMANAS UDARA.	4
II.1. Unit Pengering	4
II.2. Analisa Termodinamis.	5
II.3. Pemanas Udara.	8
B A B. III. K E S I M P U L A N.	15
DAFTAR PUSTAKA.	16
LAMPIRAN	

DISPERPUSIP JATIM

DAFTAR ISI.

Halaman.

KATA PENGANTAR . . . . .	i
DAFTAR ISI . . . . .	ii
B A B. I. P E N D A H U L U A N . . . . .	1
I.1. Latar Belakang Masalah	2
I.2. Pembatasan Masalah.	2
I.3. Sistematika Pembahasan	3
B A B. II. ALAT PEMANAS UDARA.	4
II.1. Unit Pengering	4
II.2. Analisa Termodinamis.	5
II.3. Pemanas Udara.	8
B A B. III. K E S I M P U L A N.	15
DAFTAR PUSTAKA.	16
LAMPIRAN	

## B A B. I

### P E N D A H U L U A N

Unit alat pengering adalah alat yang digunakan untuk mengeringkan krupuk agar menjadi kering dan siap untuk dijual.

Sedang perencanaan dan pembuatan alat pengering krupuk ini merupakan bagian dari perencanaan dan pembuatan alat alat untuk proses pembuatan krupuk, yang diusulkan penulis untuk penelitian serta pengembangan alat alat proses pembuatan krupuk ke B.P.P.I. Pusat sebagai satu alternatif untuk membantu industri kecil krupuk di daerah daerah.

Didalam pengoperasiannya alat tersebut, panas yang diperlukan untuk mengeringkan krupuk didalam pengering adalah diambilkan/dialirkan dari alat pemanas udara, dengan lain kata bahwa cara pemberian panasnya adalah dengan cara tidak langsung yang berarti bahwa udara panas yang diperlukan untuk memanaskan krupuk ada alat pemanas udara sendiri, dimana alat tersebut memakai bahan bakar sekam padi.

Ada beberapa pertimbangan dalam pemakaian bahan bakar sekam antara lain yaitu :

- terdapat dimana-mana/daerah-daerah, baik sebagai bahan buangan, ataupun sebagai bahan bakar.
- mudah diperoleh.
- harganya murah
- ada beberapa usulan dari dinas-dinas Perindustrian untuk memasyarakatkan sekam.

Disamping sekam mempunyai kelebihan-kelebihan juga mempunyai beberapa kekurangan antara lain yaitu berdebu, kotor serta menimbulkan bau sedang krupuk sendiri termasuk bahan makanan/makanan ringan yang setiap rumah tangga memerlukannya harus bebas dari debu, kotoran-kotoran dan rasa sangit. Oleh karena itulah cara pemberian panasnya dibuat tidak langsung jadi secara garis besar unit alat pengering meliputi dua bagian yaitu :

- alat pemanas udara.
- alat pengering.

## B A B. I

### P E N D A H U L U A N

Unit alat pengering adalah alat yang digunakan untuk mengeringkan krupuk agar menjadi kering dan siap untuk dijual.

Sedang perencanaan dan pembuatan alat pengering krupuk ini merupakan bagian dari perencanaan dan pembuatan alat alat untuk proses pembuatan krupuk, yang diusulkan penulis untuk penelitian serta pengembangan alat alat proses pembuatan krupuk ke B.P.P.I. Pusat sebagai satu alternatif untuk membantu industri kecil krupuk di daerah daerah.

Didalam pengoperasiannya alat tersebut, panas yang diperlukan untuk mengeringkan krupuk didalam pengering adalah diambilkan/dialirkan dari alat pemanas udara, dengan lain kata bahwa cara pemberian panasnya adalah dengan cara tidak langsung yang berarti bahwa udara panas yang diperlukan untuk memanaskan krupuk ada alat pemanas udara sendiri, dimana alat tersebut memakai bahan bakar sekam padi.

Ada beberapa pertimbangan dalam pemakaian bahan bakar sekam antara lain yaitu :

- terdapat dimana-mana/daerah-daerah, baik sebagai bahan buangan, ataupun sebagai bahan bakar.
- mudah diperoleh.
- harganya murah
- ada beberapa usulan dari dinas-dinas Perindustrian untuk memasyarakatkan sekam.

Disamping sekam mempunyai kelebihan-kelebihan juga mempunyai beberapa kekurangan antara lain yaitu berdebu, kotor serta menimbulkan bau sedang krupuk sendiri termasuk bahan makanan/makanan ringan yang setiap rumah tangga memerlukannya harus bebas dari debu, kotoran-kotoran dan rasa sangit. Oleh karena itulah cara pemberian panasnya dibuat tidak langsung jadi secara garis besar unit alat pengering meliputi dua bagian yaitu :

- alat pemanas udara.
- alat pengering.

Maka didalam pembahasan kedua hal tersebut tidak dapat dipisahkan antara satu dengan yang lain keduanya saling berhubungan dan saling berkaitan baik didalam pembahasan perencanaan maupun dalam pengoperasiannya.

Sedang perencanaan dan pembuatan alat tersebut diatas dibagi menjadi beberapa tahapan yaitu :

- perencanaan konstruksi mesin & konversi enersi.
- pembuatan gambar rakitan dan detail, serta
- pembuatan alat.

Demikianlah sedikit uraian laporan dari penulis mudah-mudahan ada manfaat dan mohon maaf bila ada kesalahan dan kekurangannya.

Sekian terima kasih..

#### I.1. LATAR BELAKANG MASALAH.

Pada saat musim panas tidak ada hujan, sinar matahari dapat dipakai bermacam-macam keperluan baik rumah tangga maupun kegiatan lain-lain salah satunya adalah untuk mengeringkan krupuk pada industri kecil, tetapi pada musim penghujan ada beberapa masalah antara lain :

- tidak ada sinar matahari.
- orang membutuhkan krupuk semakin banyak.
- tidak berproduksinya produsen pembuat krupuk untuk mengatasi hal tersebut diatas maka dipakailah alat yang dinamakan alat pengering krupuk.

#### I.2. PEMBATASAN MASALAH.

Proses proses pembuatan krupuk yang telah dimasak masih mengandung kandungan air, sehingga untuk mengurangi kandungan air tersebut maka dipakailah sinar matahari sebagai cara yang sederhana dan mudah untuk mengeringkan krupuk menyangkut beberapa masalah antara lain:

- analisa termodinamis untuk pengering
- kebutuhan akan udara panas
- kebutuhan energi pemanasan.
- analisa perpindahan panas pada penukar panas.

Maka didalam pembahasan kedua hal tersebut tidak dapat dipisahkan antara satu dengan yang lain keduanya saling berhubungan dan saling berkaitan baik didalam pembahasan perencanaan maupun dalam pengoperasiannya.

Sedang perencanaan dan pembuatan alat tersebut diatas dibagi menjadi beberapa tahapan yaitu :

- perencanaan konstruksi mesin & konversi enersi.
- pembuatan gambar rakitan dan detail, serta
- pembuatan alat.

Demikianlah sedikit uraian laporan dari penulis mudah-mudahan ada manfaat dan mohon maaf bila ada kesalahan dan kekurangannya.

Sekian terima kasih..

## I.1. LATAR BELAKANG MASALAH.

Pada saat musim panas tidak ada hujan, sinar matahari dapat dipakai bermacam-macam keperluan baik rumah tangga maupun kegiatan lain-lain salah satunya adalah untuk mengeringkan krupuk pada industri kecil, tetapi pada musim penghujan ada beberapa masalah antara lain :

- tidak ada sinar matahari.
- orang membutuhkan krupuk semakin banyak.
- tidak berproduksinya produsen pembuat krupuk untuk mengatasi hal tersebut diatas maka dipakailah alat yang dinamakan alat pengering krupuk.

## I.2. PEMBATASAN MASALAH.

Proses proses pembuatan krupuk yang telah dimasak masih mengandung kandungan air, sehingga untuk mengurangi kandungan air tersebut maka dipakailah sinar matahari sebagai cara yang sederhana dan mudah untuk mengeringkan krupuk menyangkut beberapa masalah antara lain:

- analisa termodinamis untuk pengering
- kebutuhan akan udara panas
- kebutuhan energi pemanasan.
- analisa perpindahan panas pada penukar panas.

### I.3. SISTEMATIKA PEMBAHASAN.

Bab. II akan membahas mengenai perencanaan alat pengering kerupuk serta pemanas udara, mulai dari analisa termodinamis sampai analisa perpindahan panas pada penukar panas.

Pada Bab. III, ditarik kesimpulan dari pembahasan bab-bab sebelumnya. Selain ketiga Bab diatas, ditambahkan juga lampiran-lampiran antara lain gambar rakitan dari alat pemanas udara.

DISPERPUSIP JATIM

B A B. II  
ALAT PEMANAS UDARA.

II.1. UNIT PENGERING.

Setelah menjalani proses pemasakan, krupuk-krupuk tersebut di pindahkan secara normal ke unit pengering. Unit pengering yang dimaksud secara rakitan ditunjukkan pada gambar lampiran.

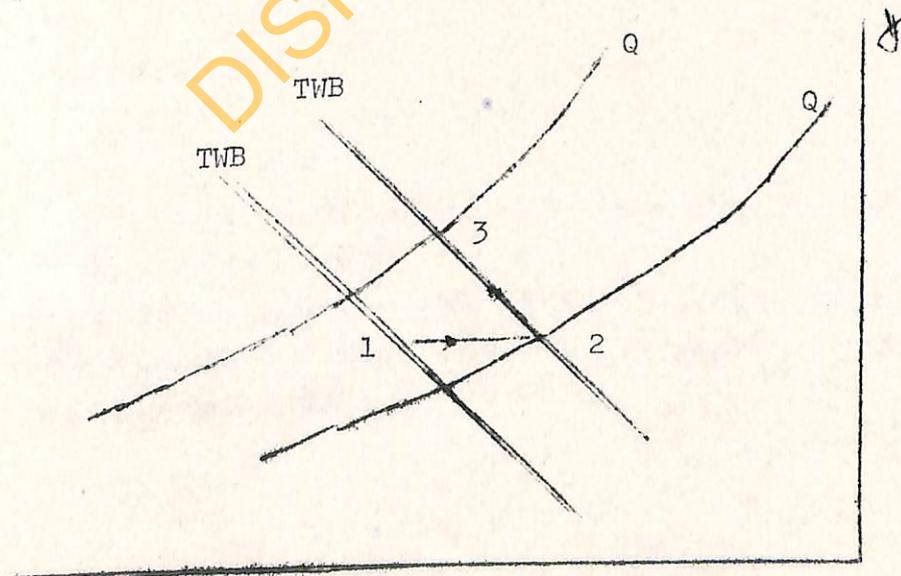
Krupuk-krupuk yang telah dimasak dan bentuknya agak kekenyalan tersebut ditempatkan pada tray - bertingkat pada alat pengering.

Udara panas yang masuk ke-pengering yang berasal dari pemanas udar adalah dialirkan dengan cara menaruh fan (pompa isap tekan) pada saluran udara tersebut.

Ketika melewati krupuk-krupuk yang ada pada tray-2 itu, udara panas membawa uap air sehingga kelembaban jenisnya ( $\lambda$ ) menjadi besar dan temperaturnya turun (lihat gambar).

Proses pengambilan uap air oleh udara panas ini berlangsung kontinu sampai krupuk menjadi kering.

Tingkat keadaan 0 sama dengan tingkat keadaan 1, karena fan yang diletakkan tersebut hanya digunakan untuk mengalirkan udara dan meratakan peredaran udara didalam unit pengering yakni membawa kerugian tekanan akibat gesekan sepanjang saluran (duct) unit pengering jadi proses 0 ke 1 bukan proses peningkatan tekanan.



TDB Gmb.1. Diagram Proses untuk udara.

## II.2. ANALISA TERMODINAMIKA.

Udara luar (tingkat keadaan 0) masuk saluran melewati pengering sehingga udara tingkat keadaan 1 merupakan udara yang bersih. Pada tingkat keadaan 1, tekanan udara sama dengan 1 atm, dan temperaturnya  $25^{\circ}\text{C} = 77^{\circ}\text{F}$ , masuk dan melewati alat pemanas udara, udara dipanaskan pada tekanan tetap sampai  $(55^{\circ}\text{C} / 65^{\circ}\text{C}) = 149^{\circ}\text{F}$ . Udara panas ini digunakan untuk mengeringkan krupuk-krupuk basah sebanyak  $\pm 1.0500$  buah krupuk, dimana tiap krupuk mengandung air kira-kira 38% -- (setelah dimasak).

Pada proses pengeringan krupuk ini, terjadi perpindahan panas dari udara panas ke tiap-tiap krupuk basah, atau secara psikrometrik -- terjadi penjuanan udara dengan uap air. Udara jenuh keluar dari unit pengering dan turun temperaturnya.

Analisa termodinamis yang perlu dilakukan adalah :

pertama : menghitung jumlah uap air yang dapat dibawa udara panas pada setiap siklus pengeringan.

Dari hasil ini dapat diperkirakan jumlah udara panas yang diperlukan untuk pengeringan  $\pm 10500$  buah krupuk.

kedua : menghitung energi pemanasan yang dibutuhkan, data ini diperlukan untuk perencanaan alat pemanas udara (pengering krupuk).

Tingkat Keadaan I.

$$T_i = 77^{\circ}\text{F}$$

$$P_i = 14,7 \text{ psia}$$

Dari tabel B.13 Reynolds Thermodynamis diperoleh

$$h_1 = 0 \text{ Btu / lbm.}$$

Dari gambar B.13 diagram psikrometris Reynolds Thermodynamis untuk Surabaya dan daerah sekitarnya pada musim penghujan  $\pm \phi = 80\%$  (kelembaban nisbi).

## II.2. ANALISA TERMODINAMIKA.

Udara luar (tingkat keadaan 0) masuk saluran melewati pengering sehingga udara tingkat keadaan 1 merupakan udara yang bersih. Pada tingkat keadaan 1, tekanan udara sama dengan 1 atm, dan temperaturnya  $25^{\circ}\text{C} = 77^{\circ}\text{F}$ , masuk dan melewati alat pemanas udara, udara dipanaskan pada tekanan tetap sampai  $(55^{\circ}\text{C} / 65^{\circ}\text{C}) = 149^{\circ}\text{F}$ . Udara panas ini digunakan untuk mengeringkan krupuk-krupuk basah sebanyak  $\pm 1.0500$  buah krupuk, dimana tiap krupuk mengandung air kira-kira 38 % -- ( setelah dimasak ).

Pada proses pengeringan krupuk ini, terjadi perpindahan panas dari udara panas ke tiap-tiap krupuk basah, atau secara psikrometrik -- terjadi penjumlahan udara dengan uap air. Udara jenuh keluar dari unit pengering dan turun temperaturnya.

Analisa termodinamis yang perlu dilakukan adalah :

pertama : menghitung jumlah uap air yang dapat dibawa udara panas pada setiap siklus pengeringan.

Dari hasil ini dapat diperkirakan jumlah udara panas yang diperlukan untuk pengeringan  $\pm 10500$  buah krupuk.

kedua : menghitung energi pemanasan yang dibutuhkan, data ini diperlukan untuk perencanaan alat pemanas udara ( pengering krupuk ).

Tingkat Keadaan I.

$$T_1 = 77^{\circ}\text{F}$$

$$P_1 = 14,7 \text{ psia}$$

Dari tabel B.13 Reynolds Thermodynamis diperoleh

$$h_1 = 0 \text{ Btu / lbm.}$$

Dari gambar B.13 diagram psikrometris Reynolds Thermodynamis untuk Surabaya dan daerah sekiranya pada musim penghujan  $\pm \phi = 80\%$  (kelembaban nisbi).

$$X_1 = 90 \frac{\text{Butir uap air}}{\text{Lbm udara}} = 0,014 \frac{\text{Lbm uap air}}{\text{Lbm udara}}$$

Tingkat Keadaan 2.

$$T_2 = 149^\circ\text{F}$$

$$P_2 = 14,7 \text{ psia}$$

Dari gambar B.13 diagram psikrometris, Reynolds, Thermodynamics, diperoleh :

$$X_2 = X_1 = 0,014 \frac{\text{Lbm uap air}}{\text{Lbm udara}}$$

dari tabel B.13. Reynolds, Thermodynamics diperoleh

$$h_2 = 15,7 \text{ Btu / Lbm.}$$

proses 2 - 3 adalah proses h tetap sampai jenuh

$$Q_3 = 100 \%$$

$$X_3 = 185 \frac{\text{butir uap air}}{\text{Lbm udara}} = 0,028 \frac{\text{Lbm uap air}}{\text{Lbm udara}}$$

Proses 2 - 3 adalah proses pengeringan atau pengambilan uap air oleh udara panas jumlah uap air yang diambil oleh satu lbm udara adalah :

$X_3 - X_2$  jadi untuk mengeringkan 10500 buah krupuk, dimana tiap krupuk yang mau dikeringkan mengandung air kira-kira 38 %, diperlukan udara sebanyak

$$\frac{Mu = 23100 \cdot 0,18}{X_3 - X_2}$$

$$= \frac{8778 \text{ lbm air}}{0,028 - 0,014 \text{ lbm uap air / lbm udara}}$$

$$= 627.000 \text{ lbm.}$$

Jika proses pengeringan dilakukan selama 6 jam ( pk.08.00 - 14.00 ), maka laju udara rata-rata adalah  $\dot{W}_u = 104.500 \text{ Lbm/jam} = 29 \text{ Lbm/sec}$ . Laju energi pemanasan udara yang dibutuhkan adalah

$$\begin{aligned} Q_u &= \dot{W}_u ( H_2 - H_1 ) \\ &= 29 \text{ Lbm/sec} ( 15,7 - 0 ) \frac{\text{btu}}{\text{Lbm}} \\ &= 455,3 \text{ btu / sec} = 114,736 \text{ k.kal / sec.} \end{aligned}$$

Kapasitas krupuk yang mau dikeringkan 50 kg/1 hari.

1 hari = 6 jam ( Pk.08.00 - 14.00 ), sehingga untuk waktu 1 jam krupuk yang dikeringkan 8,33 kg.

Hasil percobaan/penelitian B.D. krupuk 2,8

$$\text{maka volume} = \frac{8,33}{2,8} \text{ dm}^3 = 2,975 \text{ dm}^3$$

2,975 dm<sup>3</sup> mengandung kadar air sebanyak  $38\% = 0,38 \cdot 2,975 = 1,13 \text{ kg}$ .

Sehingga kadar air yang harus dibuang =  $38\% - 14\% = 24\%$

$$= \frac{24\%}{38\%} \times 1,13 \text{ kg} = 0,713 \text{ kg air}$$

$$\Delta T = 65^\circ\text{C} - 27^\circ\text{C} = 38^\circ\text{C}$$

Berarti dibutuhkan kalor sebanyak =  $38 \cdot 0,713 \text{ kg} = 27 \text{ k.kal}$ .

Untuk 1 kg. sekam menghasilkan  $\pm 200 \text{ kcal/kg}$

$$\text{Maka dibutuhkan sekam sebanyak} = \frac{27}{200} \text{ K.kal} = 0,135 \text{ kg sekam}$$

Rendemen =  $\frac{1}{6}$  sekam diambil (diasumsikan) 20%

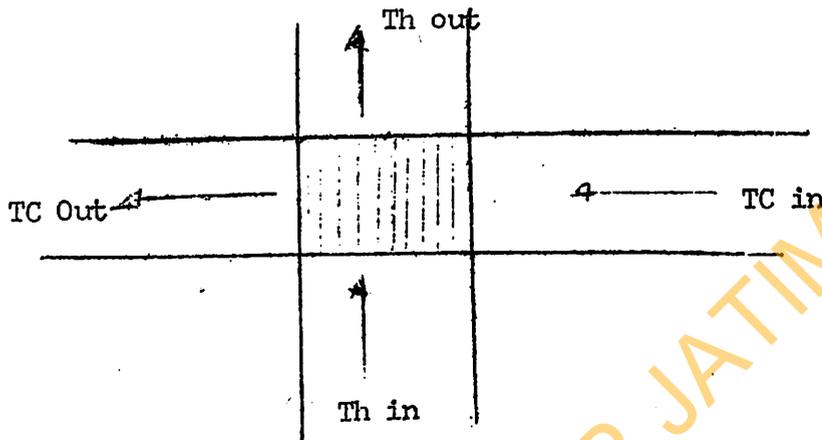
$$= \frac{100}{6} \times 0,135 = 0,675 \text{ kg sekam} \approx 1 \text{ kg sekam.}$$

diasumsikan juga <sup>20</sup>BD. sekam =  $\pm 0,1$

Jadi 1 kg. krupuk membutuhkan =  $\frac{1}{0,1} = 10 \text{ dm}^3 = 10 \text{ l}$  sekam  
atau 1/2 blok sekam.

- Penukar Panas ( Pemanas Udara ).

Penukar panas yang direncanakan untuk unit pengering adalah penukar panas dengan aliran silang (cross flow), yang secara skematik ditunjukkan pada gambar dibawah :



Dari hasil analisa termodinamika untuk pengeringan krupuk diperlukan udara dengan tingkat keadaan sebagai berikut :

Udara masuk : TC, in = 77° F, 1 atm.

Udara keluar : TC, out = 149° F 1 atm.

Aliran massa udara = 29 lbm/sec.

C = colder fluid, udara

h = hotter fluid, gas asap.

Berdasarkan ukuran krupuk, maka penampang dari pemanas udara direncanakan berbentuk selinder , dengan ukuran :

$$\phi D = 500 \text{ mm}$$

$$L = 10000 \text{ mm}$$

Sehingga  $A_c = 0,5 \times 1 \text{ m}^2 = 1,57 \text{ m}^2 = 16,89 \text{ ft}^2$  dari tabel A-1.

M. . Necati Ozisik. Basic Heat Transfer hal 498 diperoleh

$\rho_c = 0,07 \text{ lbm} / \text{ft}^3$ , sehingga kecepatan udara dalam saluran dapat ditentukan :

$$V_c = \frac{N_c}{\rho_c \cdot A_c}$$

$$= \frac{29 \text{ Lbm/sec}}{0,07 \text{ Lbm/ft}^3 \cdot 16,89 \text{ ft}^2} = 24,528 \text{ ft/sec.}$$

Gas asap sebagai fluida pemanas didinginkan pada tingkat keadaan sebagai berikut :

$$T_{h_{out}} = 104^{\circ}\text{F} : 1 \text{ atm.}$$

$$T_{h_{in}} = 212^{\circ}\text{F} : 1 \text{ atm.}$$

Ukuran pipa yang digunakan diambil dari S.I.I. 0050 - 74

$$d_o = 1 \text{ inch.}$$

$$d_{in} = 0,9055 \text{ inch} = 0,023 \text{ m} = 0,0754 \text{ ft.}$$

dari tabel A-1. M. Necati Ozisik diperoleh  $C_{pc} = 0,2410 \text{ stu/Lbm F}$

panas jenis pada tekanan tetap untuk gas asap adalah  $C_{ph} = 0,3251$

$$\text{Kcal / Nm}^3 \text{ }^{\circ}\text{C} = 0,0203 \text{ Btu/Nft}^3 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

dari rumus :

$$m_h \cdot C_{ph} (T_{h_{in}} - T_{h_{out}}) = m_c \cdot c_{pc} (T_{c_{out}} - T_{c_{in}})$$

diperoleh laju aliran gas asap.

$$m_h = \frac{m_c \cdot c_{pc} (T_{c_{out}} - T_{c_{in}})}{c_{ph} (T_{h_{in}} - T_{h_{out}})}$$

$$= \frac{29 \text{ Lbm/sec} \cdot 0,2410 \text{ Btu/lbm }^{\circ}\text{F} (149 - 77)^{\circ}\text{F}}{0,0203 \text{ Btu/Nft}^3 \text{ }^{\circ}\text{F} (212 - 104)^{\circ}\text{F}}$$

$$= \frac{29 \cdot 0,2410 \cdot 72}{0,0203 \cdot 108} \text{ ft}^3/\text{sec}$$

$$m_h = 229,523 \frac{\text{ft}^3}{\text{Sec}} \cdot (\text{catatan : N = Normal, } 77^{\circ}\text{F} : 1 \text{ atm})$$

Jumlah pipa gas asap direncanakan 24 buah luas penampang aliran tiap pipa adalah  $\frac{\pi}{4} d_i^2 = 0,00446 \text{ ft}^2$

sehingga luas penampang aliran total adalah :

$$A_h = 24 \times 0,00446 \text{ ft}^2 = 0,10704 \text{ ft}^2$$

Kecepatan aliran gas asap dalam pipa dapat ditentukan

$$V_h = \frac{m_h}{A_h} = \frac{229,523 \text{ ft}^3/\text{sec}}{0,1071 \text{ ft}^2}$$

$$= 2143,07 \text{ ft/sec.}$$

U mencari harga U = unit konduktansi dari penukar panas yang bersih dengan pers :

$$u = \frac{1}{\frac{1}{h_o} + R_o + R_k + \frac{A_o}{A_i} R_i + \frac{A_o}{A_i \cdot h_i}}$$

perlu dicari dulu harga-harga :  $h_o, h_i, R_o, R_i, R_k, A_o/A_i$

Menghitung  $A_o/A_i$

$$\frac{A_o}{A_i} = \frac{d_o^2}{d_i^2} = \frac{1^2 \text{ inch}^2}{(0,9055)^2 \text{ inch}^2} = 1,2196$$

Mencari harga  $R_o$  dan  $R_i$ .

Dari tabel 15-i fouling Resistance  $F$ , M Necati hal 462.

$$R_o = \frac{0,002 \text{ hr ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}}{\text{Btu}} = 7,2 \frac{\text{Sec } \text{ } ^\circ\text{F.ft}^2}{\text{Btu}} \text{ ( udara )}$$

$$R_i = \frac{0,0005 \text{ hr.ft}^2}{\text{Btu}} = 1,8 \frac{\text{sec f ft}^2}{\text{Btu}} \text{ ( bahan bakar sekam diasumsikan dengan organic Vepors )}$$

Menghitung Harga  $R_k$

$$R_k = \ln \left( \frac{d_o}{d_i} \right) \frac{d_o}{2 \cdot k}$$

Dari tabel A-1 Kreith F. hal 634 diperoleh.

$$K = \frac{26 \text{ Btu}}{\text{hr.ft.F}} \text{ untuk pipa baja. } 212^\circ\text{F}$$

Sehingga harga  $R_k$  dapat dihitung.

$$R_k = \frac{\ln \left( \frac{1}{0,9055} \right) 1 \text{ inch } (1/12) \text{ ft/in.}}{2 \cdot 26 \text{ Btu/hr.ft F}}$$

$$= 1,59 \cdot 10^{-4} \text{ hr.ft}^2 \text{ F / Btu.}$$

$$R_k = 0,5724 \text{ sec ft}^2 \cdot \text{F / Btu.}$$

- Menghitung  $h_c$ 

dari tabel A-3 F -- Kreith diperoleh

$$\mu_o = 1,285 \cdot 10^{-5} \text{ lbm / ft sec ( viscosity ).}$$

$$Pr = 0,665 \text{ atau } 0,72. \text{ ( Poandt number ).}$$

Bilangan Reynolds dari udara yang mengalir menyelimuti pipa pemanas adalah :

$$\begin{aligned} \text{Red} &= \frac{c \cdot V_e \cdot d}{\mu_c} \\ &= \frac{0,07 \text{ lbm/ft}^3 / 24,528 \text{ ft/sec} \cdot \frac{1}{12} \text{ ft.}}{1,285 \cdot 10^{-5} \text{ lbm/ft sec.}} \\ &= 11178,125 \end{aligned}$$

Dari tabulasi persamaan untuk menentukan harga konveksi rata-rata pada halaman 487. F.Kreith, Principles of heat Transfer,  $\mu$  gas yang menyelimuti silinder.

$$\frac{h_o \cdot d}{K} = (0,4 \cdot \text{Red}^{0,5} + 0,06 \text{Red}^{0,67}) \cdot Pr^{0,4} (\mu_s / \mu_o)^{0,25}$$

untuk  $1,0 < \text{Red} < 10^5$ ;  $0,7 < Pr < 200$

$$\mu_o = \mu_c = 1,285 \cdot 10^{-5} \text{ lbm/ft sec.}$$

$$\mu_s = \mu(T \text{ surface}) = 1,36 \cdot 10^{-5} \text{ lbm/ft sec ( T surface diperkirakan } 150^\circ\text{F )}$$

$$h_o = h_c = \frac{K}{d} (0,4 \text{Red}^{0,5} + 0,06 \text{Red}^{0,67}) Pr^{0,4} (\mu_s / \mu_o)^{0,25}$$

$$= \frac{0,00722}{\frac{1}{12} \text{ ft.}} \left\{ 0,4(22356,26)^{0,5} + 0,06(22356,26)^{0,67} \right\}$$

$$0,665^{0,4} \left( \frac{1,36 \cdot 10^{-5}}{1,285 \cdot 10^{-5}} \right)^{0,25} = 8,1202 \frac{\text{Btu}}{\text{sec ft}^2\text{F}}$$

Untuk mencari beda temperatur rata-rata dapat memakai

Rumus :

$$\text{LMTD} = \frac{\Delta T_o - \Delta T_l}{\ln \left( \frac{\Delta T_o}{\Delta T_l} \right)}$$

$$\Delta T_o = T_1 - t_2$$

$$\Delta T_l = T_2 - t_1$$

Sedang untuk mencari faktor koreksi dengan menggunakan parameter P dan R

$$P = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1} \quad \text{dimana : } T_i = \text{udara masuk} = 77^\circ\text{F}$$

$$T_2 = \text{" keluar} = 149^\circ\text{F}$$

$$= \frac{104 / 212}{77 / 212} \quad t_1 = \text{gas asap masuk} = 212^\circ\text{F}$$

$$= 0,8 \quad t_2 = \text{gas asap keluar} = 104^\circ\text{F}$$

$$R = \frac{T_1 / T_2}{t_2 - t_1} = \frac{77 - 149}{104 - 212} = 0,67$$

Dengan menggunakan grafik faktor koreksi dari Fig 15 - 12 M. Necati Basic heat Transfer hal 452, ditemukan faktor koreksi = 0,73

$$\Delta T_o = 77^\circ\text{F} - 104^\circ\text{F} = -27^\circ\text{F}$$

$$\Delta T_l = 149^\circ\text{F} - 212^\circ\text{F} = -63^\circ\text{F}$$

$$\text{LMTD} = \frac{-27 + 63}{\ln \left( \frac{-27}{-63} \right)} = 42,5^\circ\text{F}$$

Jadi perbedaan temperatur menjadi.

$$T_c = 42,5 \times 0,73 = 31,025^\circ\text{F}$$

Dari buku : M. Ledinegg, Dampferzevgung Damp/Kessel  
Feurungen, diperoleh harga  $h_i$  untuk gas asap.

Yaitu :

$$h_i = \left[ 3,6 + 0,26 \frac{T_f}{100} - 0,0076 \left( \frac{T_f}{100} \right)^2 \right] \frac{v^{0,75}}{d_i^{0,25}}$$

Dimana :

$h_i$  = koefisien perpindahan panas konveksi dari gas asap ke dinding  
pipa, dalam  $\text{Kkal/hr.m}^{2\circ\text{C}}$

$T_f$  = temperatur film gas asap dalam  $^{\circ}\text{C}$

$v$  = kecepatan aliran gas asap, dalam m/set.

$d_i$  = diameter dalam pipa, dalam m.

$$T_f = \frac{212 + 104}{2} \text{ F} = 158^{\circ}\text{F} = 70^{\circ}\text{C}$$

$$v = V_h = 2143,07 \text{ ft/sec} = 2143,07 \times 0,305 \text{ m/sec} \\ = 653,636 \text{ m/sec}$$

$$d_i = 0,9055 \text{ inch}$$

$$= 0,023 \text{ m}$$

$$h_i = \left[ 3,6 + 0,26 \frac{70}{100} - 0,0076 \left( \frac{70}{100} \right)^2 \right] \frac{653,636^{0,75}}{0,023^{0,25}} \\ = 1225,48 \frac{\text{Kkal}}{\text{hr m}^{2\circ\text{C}}}$$

Harga  $U$  ( Overall unit conductence ) dapat ditentukan yaitu :

$$U = \frac{1}{\frac{1}{8,1202} + 7,2 + 0,5724 + 1,2196 + \frac{1,2196}{1225,48}} \\ = 0,099 \text{ Btu/sec ft}^2 \text{ } ^{\circ}\text{F}$$

Efektivitas penukar panas diperkirakan dengan cara memasukkan harga  $Q$   
 $= 455,3 \text{ Btu/det}$  ( Lihat analisa termodinamis )  
 kedalam persamaan.

$$Q = \dot{C}_{\min} ( T_{h \text{ in}} - T_{c \text{ in}} )$$

$$\epsilon = \frac{Q}{\dot{C}_{\min} ( T_{h \text{ in}} - T_{c \text{ in}} )} \rightarrow \dot{C}_{\min} = 0,1639 \frac{\text{Btu}}{\text{sec}^{\circ}\text{F}}$$

$$= \frac{455,3 \text{ Btu/sec}}{0,1639 \frac{\text{Btu}}{\text{Sec}^{\circ}\text{F}} ( 212 - 77 )^{\circ}\text{F}}$$

$$= 20.577$$

Luas permukaan penukar panas dihitung dari

$$Q = \epsilon A \cdot u \cdot \Delta T_c$$

$$A = \frac{Q}{\epsilon u \cdot \Delta T_c} = \frac{455.3 \text{ Btu/sec}}{20.577 \cdot 0,099 \frac{\text{Btu}}{\text{sec ft}^2\text{F}} \cdot 31.025^{\circ}\text{F}}$$

$$= 7,204 \text{ ft}^2$$

Panjang pipa gas asap yang diperlukan sama dengan

$$L = \frac{A}{24 P \text{ (keliling luar pipa)}}$$

$$= \frac{7,204}{24 \pi (1/12) \text{ ft.}} = 1,265 \text{ ft.}$$

$$L = 1,147 \text{ m.}$$

## B A B. III

K E S I M P U L A N

Pemanas udara yang direncanakan untuk unit pengering krupuk industri kecil adalah penukar panas jenis Cross Flow, dimana udara yang dipanaskan didalam pipa-pipa dan gas asap dari bahan bakar sekam padi sebagai fluida pemanas mengalir diluar pipa-pipa pemanas dengan melalui beberapa sekat. Beberapa hasil perencanaan adalah sebagai berikut :

- saluran udara dengan penampang bulat silinder  $\phi$  500 mm. 1100 mm.
- pipa - pipa pemanas
- Raja tanpa sambungan do = 1 inch di = 0,9055 inch
- panjang tiap lintasan, L = 800 mm.
- Jumlah lintasan = 5 lintasan.
- Jumlah pipa = 24 buah
- Luas bidang pemanas total =  $1621,506 \text{ ft}^2 = 233496,87 \text{ in}^2$
- U d a r a :
  - Tingkat keadaan masuk,  $T_{c \text{ in}} = 77^\circ \text{ F}$ , 1 atm.
  - Tingkat keadaan keluar,  $T_{c \text{ out}} = 149^\circ$ , 1 atm.
  - Aliran udara,  $m^{\circ} \text{ c} = 29 \text{ Lbm/sec}$ .
  - Laju energi pemanasan udara,  $Q = 455,3 \text{ Btu/sec}$ .
- Gas Asap.
  - Tingkat keadaan masuk,  $T_{h \text{ in}} = 212^\circ \text{ F}$ , 1 atm.
  - Tingkat keadaan keluar,  $T_{h \text{ out}} = 104^\circ \text{ F}$ , 1 atm.
  - Aliran gas asap,  $m^{\circ} \text{ h} = 229,523 \frac{\text{Nft}^3}{\text{sec}}$
  - Efektivitas penukar panas :  $\epsilon = 60 \%$
  - Kapasitas unit pengering = 10500 krupuk / 6 jam--- (  $\pm$  4 kg ).  
( dengan tiap krupuk mengandung air = 38 % = hasil uji Laboratorium - krupuk - Unyel )

DAFTAR PUSTAKA

1. Bahan Kuliah Termodinamika.
2. Bahan Kuliah Heat Transfer.
3. Reynold W.C. Thermodynamics International Student Edition.  
McGraw Hill. Koga Kusga Tokyo, 1968.
4. Kreil F. Principles of Heat Transfer, Intereducation Publisher,  
New York, 1973.
5. M. Necati Ozisik, Basic Heat Transfer.
6. Ledingg.M. Drampferzevgung Dempfkessel fourvagon Wein,  
Springs Verlag 1966.
7. Robert E. Treysol. Mess Transfer Operations.