

Mesin Pengering Gabah Sistem Refrigerasi

Rusman AR

Prodi Teknik Mesin Universitas Teuku Umar

Email :rusman@utu.ac.id

Abstract

On the drying machine, the refrigeration system works through lowering the temperature of drying air up to the water vapour contained within the air condenses. The drying air should be then reheated till water vapour compression and relative humidity become lower as much as possible. This drying method represents the drying method through constant temperature. Referring to the theoretical analysis that was completely conducted, it was obtained that the drying time could be relatively shorter and faster in comparison with the conventional method for the equal moisture load.

1. PENDAHULUAN

Pada topik ini diusulkan suatu alternatif yaitu penggabungan pengering konvensional dengan seperangkat mesin refrigerasi. Tujuannya adalah untuk memperoleh udara pengering yang mempunyai kelembaban relatif (RH) dan tekanan uap air yang jauh lebih rendah dibandingkan dengan cara konvensional. Sehingga diperoleh kemampuan daya serap uap air oleh udara pengering yang jauh lebih besar.

Secara garis besar, mesin pengering sistem refrigerasi memanfaatkan udara atmosfer sebagai media pengering. Udara atmosfer yang masih mengandung uap air dengan konsentrasi tinggi (untuk daerah tropis rata-rata 85% RH) dilewatkan melalui evaporator sistem refrigerasi. Disini udara akan mengalami proses pengawalembaban (*dehumidification*), yaitu proses pengembunan uap air dengan penurunan temperatur. Udara yang bertemperatur rendah dan relatif lebih kering ini dilewatkan melalui kondensor sistem itu juga untuk menaikkan temperaturnya. Sehingga tekanan uap air dan kelembaban relatif (RH) dari udara menjadi lebih rendah. Hal yang terakhir ini dapat dicapai karena pada saat melewati pemanas (kondensor), udara mengalami proses pemanasan tanpa penambahan uap air (*constant-moisture heating process*).

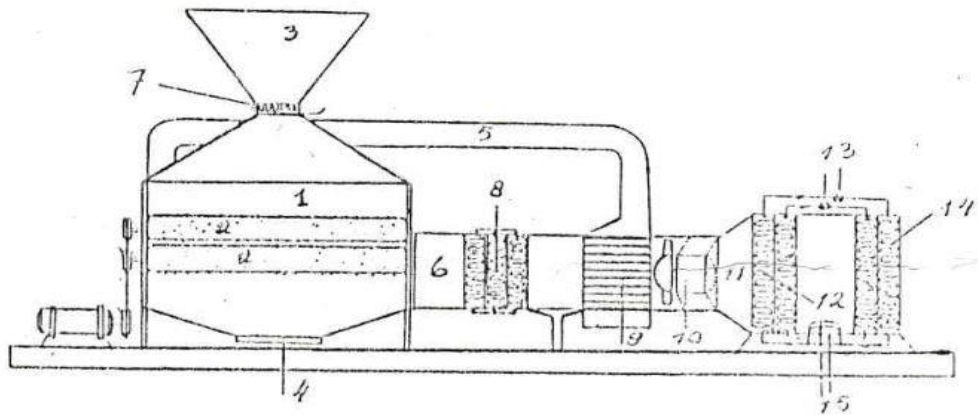
2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Mesin Pengering

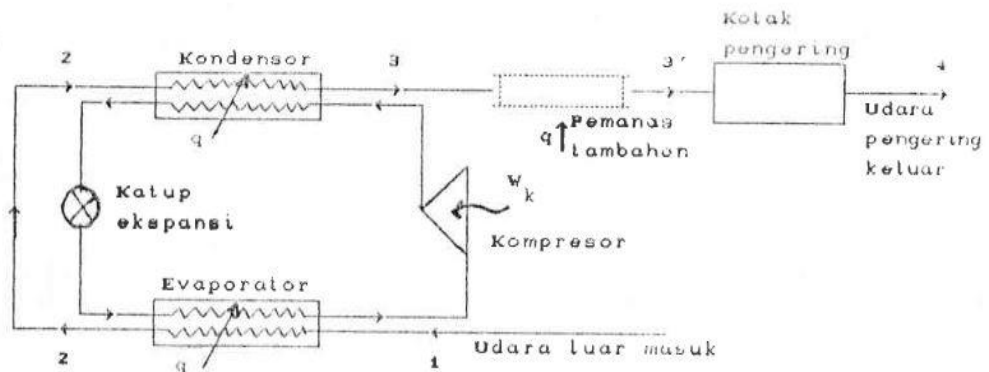
Mesin pengering sistem refrigerasi yang diusulkan mempunyai tiga unit komponen utama, yaitu:

- a. Unit komponen mesin refrigerasi.
- b. Unit komponen pemanas tambahan (bila diperlukan).
- c. Unit komponen pengering.

Unit komponen “a” dan “b” adalah bagian pengolah udara, sedangkan unit komponen “c” adalah bagian pengering produk. Model dan skema mesin pengering gabah sistem refrigerasi dapat dilihat pada Gambar 1 dan 2 di bawah ini.



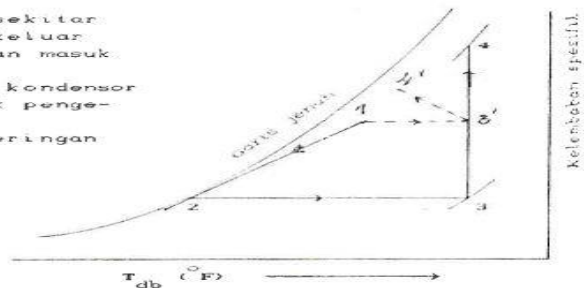
Gambar 1. Model mesin pengering gabah sistem refrigerasi yang diusulkan
 Keterangan: (1) kotak pengering, (2) pengaduk, (3) tabung gabah masuk, (4) pintu keluar gabah kering, (5) saluran udara panas kembali, (6) saluran udara masuk kotak pengering, (7) elemen pemanas gabah, (8) elemen pemanas, (9) regenerator, (10) blower, (11) saluran udara keluar kondensor, (12) kondensor, (13) katup ekspansi, (14) evaporator, (15) kompresor.



Gambar 2. Skema mesin pengering gabah sistem refrigerasi

Keterangan:

- * (1) Temperatur udara sekitar
- * (2) Temperatur udara keluar dari evaporator dan masuk ke kondensor
- * (3) Udara keluar dari kondensor dan masuk ke kotak pengering
- * (4) Akhir proses pengeringan



Gambar 3. Diagram psikrometrik mesin pengering gabah sistem refrigerasi
 Proses pengolahan udara pengering dan proses pengeringan produk secara keseluruhan dapat dilihat pada diagram psikrometrik (Gambar 3).
 Proses Pengolahan Udara

- 1 → 2 Pendinginan dengan pengawalembaban (*cooling with dehumidification*), dimana kelembaban spesifik dan temperatur udara turun.
- 2 → 3 Pemanasan udara tanpa penambahan kebasahan (*constant-moisture heating process*), dimana temperatur udara naik dan kelembaban spesifik konstan. Panas diperoleh dari pendinginan kondensor.
- 1 → 3' Pemanasan udara tanpa diproses melalui mesin refrigerasi.

Proses Pengeringan Produk

- 3 → 4 Pengeringan dengan temperatur konstan, dimana produk dipanaskan hingga sama dengan temperatur udara pengering.
- 3' → 4' Pengeringan dengan pelembaban dan penurunan temperatur atau pengeringan pada entalpi konstan.

Perlakuan 3' → 4' tidak dibicarakan, karena proses pengeringan dilakukan dengan cara konvensional. Pada perlakuan 3 → 4, produk mendapat pemanasan awal hingga mencapai temperatur yang sama dengan temperatur udara pengering. Pemanasan awal tersebut diperlukan untuk menaikkan tekanan uap air di dalam produk. Sedangkan udara bila dinaikkan temperaturnya justru tekanan uap airnya akan turun. Dengan memanfaatkan kedua sifat antara air dan udara yang berbeda, maka diharapkan proses pengeringan berjalan lebih cepat.

2.2. Proses Pengolahan Udara

Dari gambar model dan skema mesin pengering gabah sistem refrigerasi (Gambar 1 dan 2), dapat dilihat bahwa udara pengering yang diolah adalah udara sekitar. Udara diolah pada mesin refrigerasi yang berfungsi sebagai pompa kalor (*heat pump*). Kalor pemanasan yang dihasilkan pada titik keadaan 3 diperoleh dari panas laten penguapan refrigeran di dalam evaporator yang berasal dari kalor udara sekitar (titik 1) ditambah dengan energi yang dimasukkan untuk menggerakkan kompresor. Udara pada tingkat keadaan 3 dalam kasus tertentu, seperti pada pengeringan gabah dapat digunakan langsung untuk mengeringkan, tanpa perlu menambah lagi energi luar untuk memanaskan lanjut udara pengering. Ini disebabkan karena kondisi udara pada tingkat keadaan ini sudah mencapai temperatur yang disyaratkan untuk pengeringan gabah, yaitu berkisar antara 110 sampai dengan 110 °F.

Kapasitas udara pengering yang diperlukan tergantung dari:

- a. Temperatur dan RH udara sekitar.
- b. Beban kebasahan (*moisture load*) dari produk.
- c. Temperatur udara pengering yang ditetapkan.

Beban kebasahan dapat ditentukan dari hubungan:

$$\left. \begin{aligned} \%MC &= \frac{W_m}{W_m + W_{dm}} \times 100 \\ \%MC &= \frac{W'_m}{W'_m + W_{dm}} \times 100 \\ ML &= W'_m - W_m \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

$$(2)$$

Kemudian kapasitas udara pengering dapat ditentukan dari persamaan:

$$Q_{ud} = \frac{ML \times V_{ud}}{\Delta W \times \theta} \quad (3)$$

ΔW dapat juga disebut sebagai kemampuan pengeringan dari udara pengering. Ini dapat ditentukan dengan memakai psikrometrik chart pada temperatur udara pengering yang ditetapkan dan pada keseimbangan kandungan uap air di dalam udara pengering.

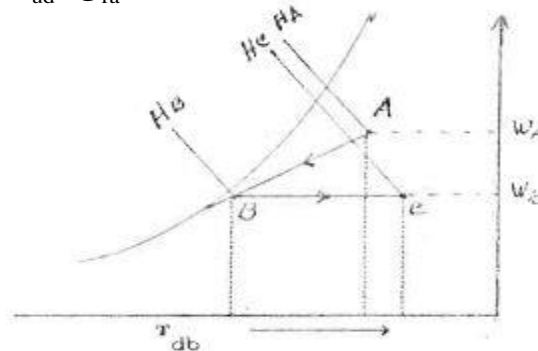
Udara pengering yang berasal dari udara sekitar, pertama diolah pada evaporator (proses 1 dan 2) yang bertujuan untuk menurunkan kandungan uap air di dalam udara pengering dengan cara menurunkan temperatur udara. Penurunan temperatur yang disertai dengan penurunan kelembaban spesifik dapat digunakan persamaan berikut:

$$SHF = \frac{0,24(t_r - t_{0la})}{H_r - H_{0la}} \quad (4)$$

Persamaan ini dapat diselesaikan dengan metode “*cut-and-try*” dengan menggunakan psikrometrik chart.

Air yang dikeluarkan dari udara adalah:

$$W_{air} = \frac{Q_{ud} (W_A - W_B)}{V_{ud} \times g_{ra}} \quad (5)$$



Gambar 4. Jalannya proses pengolahan udara

Setelah melalui proses penurunan temperatur dan pengawalembaban (*dehumidification*), udara pengering selanjutnya akan dilewatkan pada kondensor. Disini udara akan naik temperaturnya, karena menyerap panas yang dikeluarkan (panas laten) oleh pengembunan refrigeran di dalam kondensor. Sebaliknya udara akan mengalami panas sensibel, karena udara tidak mendapat penambahan maupun pengurangan uap air, sehingga RH udara akan sangat rendah pada akhir proses. Temperatur akhir yang dicapai oleh udara pengering akan dihitung setelah perhitungan kondensor pada proses refrigerasi.

2.3. Proses Refrigerasi

Pada proses refrigerasi akan dilakukan perhitungan dari siklus refrigeran yang terjadi pada mesin refrigerasi. Dengan memperhatikan Gambar 5 dan dengan menetapkan jenis refrigeran, tekanan dan temperatur kondensor dan evaporator masing-masing akan diperoleh berturut-turut:

- a. Kualitas refrigeran

$$x = \frac{h_f - h_f'}{h_g - h_f'} (\%) \quad (6)$$

b. Efek refrigerasi

$$RE = h_g - h_f \text{ (Btu/lbm)} \quad (7)$$

c. Energi yang diperlukan kompresor

$$RE = h_g - h_f \text{ (Btu/lbm)} \quad (8)$$

d. Coefficient of performance

$$COP = \frac{h_g - h_f}{h_k - h_g} \quad (9)$$

e. Energi yang dikeluarkan kondensor

$$H_{kond} = RE + H_{komp} \quad (10)$$

f. Ton of refrigeration

$$TOR = \frac{Q_{ud} / V_{ud} \times 60 \times (H_A - H_B)}{12.000} \text{ (ton)} \quad (11)$$

g. Laju aliran masa refrigeran

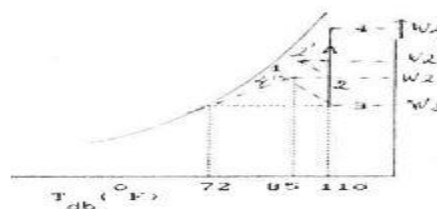
$$m_r = \frac{Q_{ud} / V_{ud} \times 60 \times (H_A - H_B)}{RE} \text{ (lbm/jam)} \quad (12)$$

Dari hasil perhitungan refrigerasi di atas, maka akan dapat dihitung temperatur udara keluar dari kondensor dengan menggunakan persamaan

$$t_{clh} = \frac{(RE + H_{komp}) \cdot m_r}{Q_{ud} \times 1,08} t_{ela} \text{ (}^\circ\text{F)} \quad (13)$$

2.4. Proses Pengeringan

Proses pengeringan yang dibahas adalah proses pengeringan temperatur konstan (lihat Gambar 6).



Gambar 6. Proses pengeringan temperatur konstan

Titik 3 adalah kondisi udara pengering keluar dari pemanas (kondensor) dan masuk ke kotak pengering. Titik 4 adalah kondisi udara pengering keluar dari kotak pengering. Titik 4 ditentukan berdasarkan bahwa udara pengering jenuh akan uap air pada RH 70 sampai dengan 80% pada temperatur pengeringan yang ditentukan. Jumlah uap air yang diserap oleh udara pengering dari produk adalah:

$$\Delta W = W_4 - W_3 \quad (14)$$

Karena besarnya ΔW , maka memungkinkan waktu pengeringan dapat dicapai lebih cepat dibandingkan dengan pengeringan entalpi konstan ($W_4' - W_3$) dan pengeringan tanpa sistem refrigerasi ($W_2 - W_2'$). Jumlah energi yang berpindah dari produk ke udara

pengering adalah dalam bentuk panas laten karena penguapan air sebesar $H_4 - H_3$. Besaran ini adalah sama dengan panas yang harus diberikan untuk menaikkan temperatur produk ke temperatur pengeringan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari perhitungan yang dilakukan dengan menggunakan persamaan-persamaan yang telah dibahas, untuk ketentuan-ketentuan:

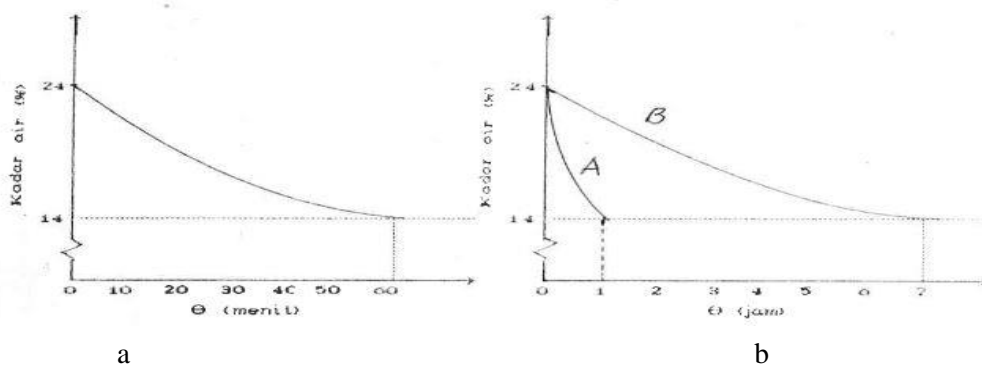
- 1000 kg gabah basah
- kandungan air gabah awal; 24%
- kandungan air gabah akhir; 14%
- kondisi udara sekitar; 85 °F, 90% RH
- refrigeran; R 12
- temperatur dan tekanan kondensor; 112 °F dan 155 psia
- temperatur dan tekanan evaporator; 70 °F dan 85 psia

Didapat hasil sebagai berikut:

- a. Udara pengering
 - Kapasitas udara pengering; $Q_{ud} = 1825$ cfm
 - Temperatur udara pengering; 116 °F
- b. Unjuk kerja mesin refrigerasi
 - Ton of refrigeration; TOR = 6,7 ton
 - Laju aliran massa refrigeran; $m_r = 1567$ lbm/jam
 - Daya kompresor; 2,4 hp \approx 1,84 kw
- c. Waktu pengeringan 1 jam, ini berarti laju rata-rata penyerapan uap air oleh udara pengering adalah:

$$\frac{24-14\%}{1} = 10\% \text{ per jam atau } 0,16\% \text{ per menit.}$$

Harga ini jauh lebih besar bila dibandingkan dengan cara konvensional, yaitu 1,2% per jam. Pada Gambar 7a dapat dilihat penurunan kandungan kebasahan terhadap waktu pengeringan pada sistem refrigerasi. Gambar 7b memperlihatkan perbandingan antara sistem refrigerasi dan sistem konvensional.



Gambar 7. (a) Penurunan kandungan kebasahan terhadap waktu pengeringan dengan laju 0,167% per menit atau 10% per jam. (b) Penurunan kandungan kebasahan terhadap waktu pengeringan. A sistem refrigerasi, B sistem konvensional.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

1. Pada mesin pengering sistem refrigerasi, dikarenakan RH udara pengering yang diperoleh cukup rendah, maka memungkinkan udara pengering menyerap uap air produk dalam jumlah yang lebih banyak dengan waktu yang lebih singkat. Karenanya membutuhkan energi yang lebih sedikit per satuan berat produk yang dikeringkan. Secara ekonomis, sistem refrigerasi ini akan menjadi lebih menguntungkan karena disamping biaya operasionalnya yang rendah, juga produk yang dihasilkan per satuan waktu lebih besar.
2. Unjuk kerja mesin refrigerasi akan berubah apabila kapasitas udara pengering berubah dan kondisi udara sekitar (T dan RH) berubah.
3. Perlu kiranya tulisan ini ditindak-lanjuti dengan pembuatan alat yang sebenarnya agar dapat dipastikan apakah alat tersebut dapat bekerja sesuai dengan teori yang telah dibicarakan.

DAFTAR PUSTAKA

- Araulo, E. V., et.al. (1982). *Rice Postharvest Technology*. Singapore: Agriculture, Food and Nutrition Sciences International Office.
- Duggal, A. K., & Muir, W. E. (1981). *Absorption Equilibrium Moisture Content of Wheat Straw*. J. agric. Engng Res, 26, 315-320.
- Esmay, M. L., & Hall, C. W. (1973). *Agricultural Mechanization in Developing Countries*. Tokyo: Shin-Norin-sha.
- Harahap, F. (1985). *Pengering Gabah*. Jakarta: P.T. Widya Karya Pratama.
- Henderson, S. M., & Perry, R. L. (1976). *Agricultural Process Engineering* (3rd ed.). Connecticut, US: The Avi Publishing.
- Harris, N. C., et.al. (1983). *Modern Air Conditioning Practice* (3rd ed.). Tokyo: McGraw-Hill.
- Holman, J. P., & Jasjfi, E. (1984). *Perpindahan Kalor*. Jakarta: Erlangga.
- Padua, D. B., et.al. *Grain Post-Harvest Processing Technology*. M.Sc. Course. Bogor: Pustaka IPB.
- Pita, E. G. (1981). *Air Conditioning Principles and System: An Energy Approach*. New York, US: John Wiley & Sons.
- Stoecker, W. F., Jones, J. W., & Hara, S. (1987). *Refrigerasi dan Pengkondisian Udara* (Edisi Kedua). Jakarta: Erlangga.