PENERAPAN SISTEM PENDINGINAN EVAPORATIF UNTUK PENANGANAN PASCA PANEN HASIL PERTANIAN

(Application of Evaporative Cooling System for Post Harvest Handling of Agricultural Products)

Armansyah H. Tambunan[1], Hedi R. Rismawan[2], Isabella Silalahi[2]

Abstract

Post harvest handling and treatment of agricultural product is extremely important in maintaining all of the possible quality of the product. Most of the product needs to be handled and treated at low temperature. Duly, a cheap and easy-to-handle cooling facility is very important to be provided nearer to producer's/ farmer's location. The objectives of the experiment were to design and evaluate the performance of an evaporative cooling system, and to develop a simulation model for predicting the performance and temperature distribution inside the storage room.

Experimental data showed that the performance of the design was fairly good and acceptable. The cooling system could keep the temperature of product under ambient temperature, although the optimal temperature couldn't be reached. Performance of the design could be increased by improving the performance of nozzle, fan and the insulation system of the storage wall.

Key words : evaporative cooling, simulation model, temperature distribution

PENDAHULUAN

a. Latar Belakang

Dalam rangkaian penanganan pasca panen hasil pertanian, terdapat beberapa mata rantai yang perlu dilakukan pada suhu rendah. Sebagai contoh, pra-pendinginan dan penyimpanan dingin produk hortikultura segera setelah panen untuk menurunkan laju respirasi dan mempertahankan mutu produk selama mungkin (Ryal and Lipton, 1982). Contoh lain, proses fermentasi teh hitam ortodox harus dilakukan pada kondisi ruang (suhu dan kelembaban) tertentu untuk mendapatkan mutu hasil fermentasi yang tinggi (Sultoni, 1994).

Petani produsen atau pedagang pengumpul umumnya tidak melakukan pra-pendinginan ataupun penyimpanan dingin karena biaya untuk fasilitas tersebut belum terjangkau.

[1] Dosen Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB
[2] Alumni Jurusan Taknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB

Oleh karena itu, sayuran dan buahan hasil panen petani harus segera dijual, meskipun dengan harga yang sangat rendah, untuk meminimalkan kerugian. Selain merugikan petani, hal ini juga menurunkan mutu produk secara umum karena keterlambatan pendinginan. Untuk mengatasi hal tersebut, diperlukan fasilitas pendinginan yang murah, mudah ditangani dan dapat diterapkan di lokasi produksi pertanian. Fasilitas seperti itu pada prinsipnya dapat dipenuhi dengan sistem pendinginan evaporatif dengan modifikasi disain tertentu.

Keuntungan lain yang dapat diharapkan dari sistem pendinginan evaporatif adalah ramah terhadap lingkungan (karena tidak menggunakan freon), dan dapat diterapkan secara bersamaan untuk menurunkan suhu dan meningkatkan kelembaban seperti yang diperlukan pada suatu ruang fermentasi dan gudang penyimpanan dingin.

b. Tujuan

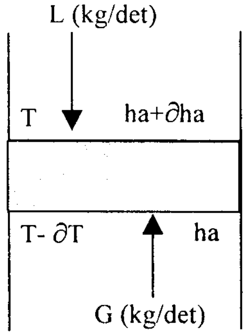
Penelitian ini bertujuan untuk:

a) Merancang-bangun dan menguji kinerja sistem pendinginan evaporatif.
b) Mengembangkan model simulasi untuk pendugaan kinerja mesin pendingin evaporatif.

TINJAUAN PUSTAKA

Pendingin evaporatif terjadi akibat penguapan air pada permukaan bebas dengan bantuan aliran udara (Stoecker, 1982). Penguapan memerlukan panas laten penguapan yang diambil dari lingkungannya, sehingga lingkungan tersebut kehilangan panas sensibel dan mengalami penurunan suhu. Fenomena ini dapat diterapkan untuk menurunkan suhu udara di dalam suatu ruangan yang dapat digunakan, baik untuk penyimpanan dingin hasil hortikultura maupun untuk penanganan lainnya.

Analisa pendinginan evaporatif dapat dilakukan berdasarkan beda potensial entalpi sebagai gaya penggerak (*driving force*). Setiap partikel diasumsikan diselimuti oleh lapisan tipis udara dan beda potensial entalpi antara lapisan tipis tersebut dengan udara bebas di sekelilingnya merupakan gaya penggerak dalam menghasilkan efek pendingin.



Gambar 1. Efek pendinginan evaporatif

Berdasarkan hukum keseimbangan energi pada keadaan adiabatis, laju kalor yang dilepaskan dari air sama dengan laju kalor yang diterima oleh udara. Laju pelepasan kalor dari air adalah :

$$\partial q_a = L\,Cp\,\partial T \qquad (1)$$

dimana,

Cp : kapasitas panas jenis air (kJ/kg.K)

L : laju aliran air (kg/det)

∂q_a : laju pelepasan kalor dari air (kJ/det)

∂T : beda suhu (K)

Sedangkan laju kalor yang diterima udara adalah :

$$\partial q_u = G(h_a - \partial h_a) - Gh_a$$
$$= G\partial h_a \qquad (2)$$

dimana:

G : laju aliran udara (kg/det)

h_a : panas laten penguapan air (kJ/kg)

∂q_a : laju pelepasan kalor dari air (kJ/det)

sehingga, jika $\partial qa = \partial qu = \partial q$, maka

$$\partial T = \frac{G\,\partial h_a}{LCp} \qquad (3)$$

Berdasarkan persamaan konveksi panas,

$$\partial q = h_c \partial A \partial T = h_c \partial A \frac{G\partial h_a}{LCp} \qquad (4)$$

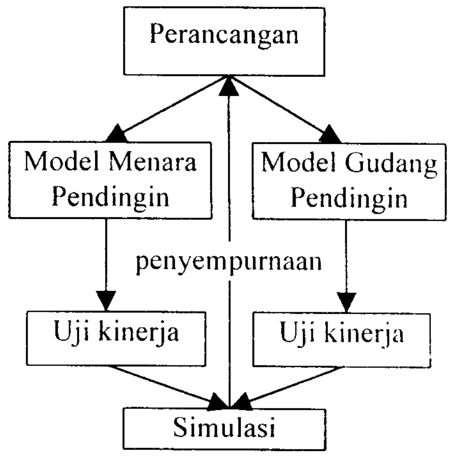
dimana:

h_c = koefisien konveksi (kW/m^2 K).

METODOLOGI

Alur kerja dan metodologi yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai digambarkan dengan diagram pada Gambar 2. Runtunan kerja yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Perancangan sistem pendinginan evaporatif dilakukan berdasarkan dua model, yaitu model menara pendingin dan model gudang pendingin.
2. Pengujian kinerja masing-masing model dilakukan dengan pengukuran sebaran suhu di sepanjang jalur aliran udara dan air.
3. Simulasi model pendinginan sistem evaporatif dilakukan untuk mempelajari pengaruh berbagai faktor terhadap kinerja alat, yang selanjutnya dapat digunakan untuk perbaikan dan penyempurnaan alat tersebut.



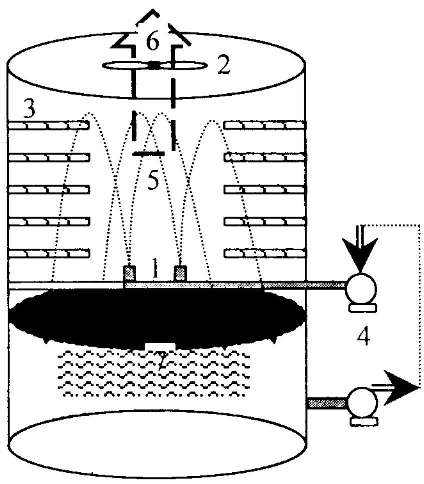
Gambar 2. Diagram alir penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Rancang Bangun

Skema rancang bangun untuk model menara pendingin (MP) ditunjukkan pada Gambar 3 dan model gudang pendingin (GP) ditunjukkan pada Gambar 4. Perbedaan utama kedua model tersebut adalah pada profil gerakan butiran air.

Model MP memanfaatkan gerakan butiran air bolak-balik untuk mendapatkan waktu persentuhan butiran air dengan udara yang lebih lama, serta dibantu dengan bafel untuk memperluas permukaan penguapan air. Selanjutnya, air hasil pendinginan dialirkan ke ruang penanganan pasca-panen. Model MP dibangun pada skala laboratorium,, dimana menara terbuat dari bahan seng dengan diameter 60 cm dan tinggi



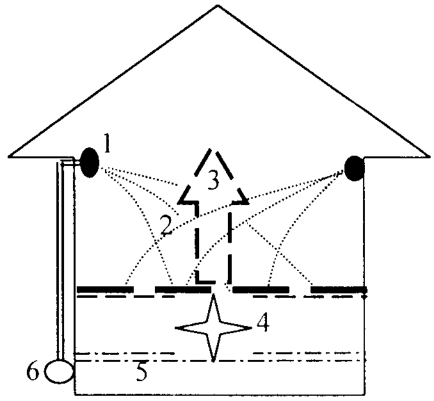
Keterangan :	
1. nosel	2. kipas
3. bafel	4. pompa air
5. percikan air	6. aliran udara
7. genangan air	

Gambar 3. Skema menara pendingin untuk pendinginan dan peningkatan kelembaban nisbi ruangan

200 cm. Untuk keperluan pengujian kinerja alat, dirancang suatu gudang berukuran 1 X 1 X 1 m^3, terbuat dari triplek.

Model GP lebih disederhanakan, dimana pola aliran butiran air berlawanan dengan aliran udara dan penguapan berlangsung di dalam gudang. Rancangan model GP dapat diterapkan untuk gudang penyimpanan sementara hasil pertanian.

Dimensi gudang keseluruhan adalah tinggi 1,90 m (termasuk bubungan atap dan ruang plenum), lebar 1,50 m dan panjang 2,00 m. Dinding terbuat dari anyaman bambu dan atap gudang dari daun kelapa. Tinggi ruang plenum adalah 62 cm,



Keterangan:	
1. Nosel	2. Percikan Air
3. Aliran Udara	4. Kipas
5. Genangan air	6. Pompa air

Gambar 4. Skema gudang pendingin dengan Sistem pendinginan evaporatif

berisi genangan air setinggi 6 cm dan dilengkapi dengan kipas.

Pada kedua model tersebut digunakan kipas untuk mengalirkan udara dengan laju 8.44 kg/det., dan pompa untuk mengalirkan air ke nosel dengan debit 0,63 kg/det.

b. Kinerja Sistem Pendinginan Evaporatif

Hasil pengukuran kinerja sistem pendinginan evaporatif untuk model menara pendingin ditunjukkan pada Tabel 1, sedangkan untuk model gudang pendingin ditunjukkan pada Tabel 2. Pengukuran kinerja kedua model dilakukan pada kondisi lingkungan berbeda, dimana model MP diuji di laboratorium sedangkan model GP diuji di lapangan (Gunung Putri, Desa Sukatani, Cipanas)

Parameter yang umum digunakan untuk mengkaji kinerja pendinginan sistem evaporatif adalah Hampiran (*approach*) dan kisaran (*range*). Hampiran adalah selisih suhu air keluar dari sistem dengan suhu bola basah ling-kungan, dan kisaran adalah selisih suhu masuk dan keluar air pendingin (Gambar 5). Secara teoritis, suhu minimum yang dapat dicapai dengan sistem pendinginan evaporatif adalah suhu bola basah udara lingkungan, sehingga semakin kecil hampiran maka semakin baik kinerja alat.

Tabel 1. Kinerja sistem pendinginan evaporatif model menara pendingin.

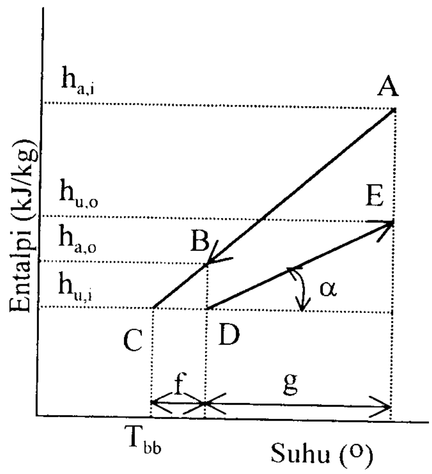
30 menit ke-	Suhu lingkungan (C)		RH	Suhu air (C)		Hampiran (C)	Kisaran (C)
	bk	bb	%	masuk	keluar		
1	29.0	25.0	72.0	26.0	26.5	1.5	*
2	29.5	26.0	75.0	26.0	26.5	0.5	*
3	29.5	26.5	77.0	26.5	27.0	0.5	*
4	31.0	26.5	70.0	27.0	27.0	0.5	0.0
5	29.0	26.5	82.0	27.0	27.0	0.5	0.0
6	30.0	27.0	79.0	28.0	27.0	0.0	1.0
7	31.0	27.5	75.0	28.0	27.0	*	1.0
8	34.0	28.0	62.0	28.0	27.0	*	1.0
9	35.0	28.0	59.0	28.0	27.5	*	0.5
10	33.0	27.5	65.0	28.0	27.5	0.0	0.5
11	32.0	27.0	67.0	27.5	27.0	1.0	0.5

* bernilai negatip

Tabel 2. Kinerja sistem pendinginan evaporatif model gudang pendingin.

30 menit ke-	Suhu lingkungan (C)		RH	Suhu air (C)		Hampiran (C)	Kisaran (C)
	bk	bb	%	masuk	keluar		
1	24.0	21.0	62.0	21.0	24.0	3.0	*
2	26.0	22.0	70.0	22.5	23.0	1.0	*
3	28.0	23.5	70.0	23.0	22.0	*	1.0
4	26.0	22.0	76.0	20.0	22.0	0.0	*
5	24.0	21.5	80.0	20.0	22.0	0.5	*
6	25.0	22.0	80.0	19.5	21.5	*	*
7	24.0	21.5	80.0	19.5	22.0	0.5	*
8	25.0	21.5	80.0	20.5	22.0	0.5	*
9	22.0	19.0	84.0	20.0	22.0	3.0	*
10	22.0	19.0	86.0	21.0	21.0	2.0	0.0
11	20.0	19.0	86.0	20.0	20.0	1.0	0.0

* bernilai negatip



Catatan:
A-B : garis kerja air; B-C : garis jenuh
D-E : garis kerja udara; f : hampiran
g : kisaran; T_{bb} : suhu bola basah udara (C)

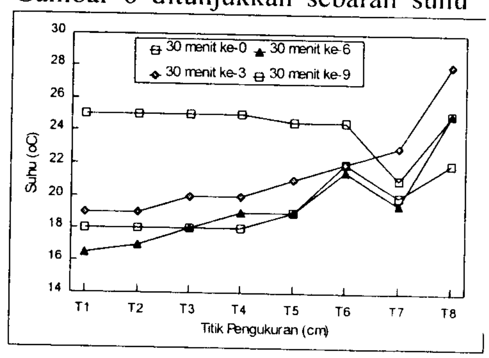
Gambar 5. Definisi hampiran dan kisaran

Kedua tabel tersebut menunjukkan bahwa nilai hampiran pada model menara pendingin adalah berkisar pada 0,5 °C, sedangkan untuk model gudang pendingin lebih tinggi, yaitu berkisar pada 1,0 °C. Selanjutnya, penurunan suhu air pendingin yang dapat dicapai hanya 1 °C, yang ditunjukkan oleh nilai kisaran.

Kelembaban udara lingkungan, yang merupakan fungsi dari suhu bola basah, pada pengujian model GP lebih tinggi dari pada pengujian model MP. Perbedaan tersebut diduga sebagai penyebab nilai hampiran pada model MP lebih rendah dari pada model GP.

Kisaran yang bernilai negatip pada Tabel 1 dan Tabel 2 di saat awal pengujian menunjukkan adanya panas yang diserap oleh air dari motor pompa untuk model MP, dan adanya perpindahan panas dari luar ke dalam gudang akibat sistem isolasi yang tidak sempurna pada model GP.

Dengan mengambil contoh model gudang pendingin, pada Gambar 6 ditunjukkan sebaran suhu

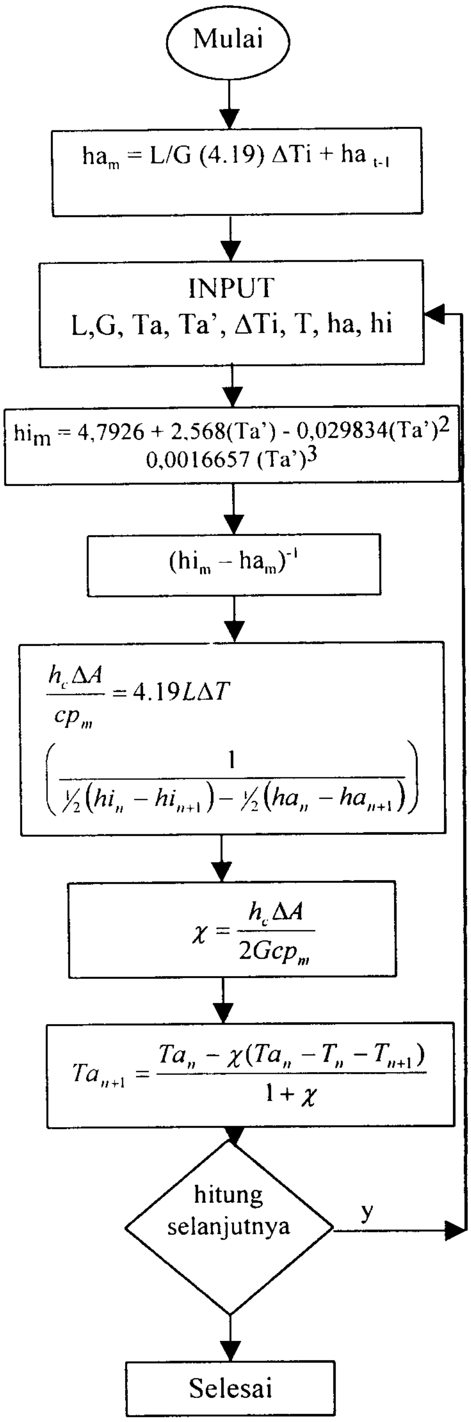


Catatan:
T1-T6: berturut-turut adalah titik berjarak 160, 140, 120, 80, 40, 20, dan 0 cm dari nosel
T7: suhu air, T8: suhu lingkungan

Gambar 6. Grafik Sebaran suhu dalam gudang pendingin dengan sistem evaporatif

udara di dalam gudang. Hasil pengukuran menunjukkan adanya sebaran suhu dalam gudang (peningkatan suhu dari T1 hingga T6). Dengan menempatkan hasil pertanian yang akan didinginkan pada lokasi T1 dan T4, maka suhu udara pendingin diharapkan dapat mencapai 5-10 °C lebih rendah dari suhu udara lingkungan. Hal ini dapat dimanfa-atkan untuk tujuan-tujuan tertentu, seperti penyimpanan sementara hasil hortikultura sebelum dipasarkan.

Faktor lain yang mempengaruhi kinerja mesin pendingin sistem evaporatif adalah kerja nosel dalam proses pengkabutan air. Ukuran butiran air yang semakin kecil diharapkan dapat meningkatkan luas



Gambar 7. Bagan alir simulasi kinerja sistem pendinginan evaporatif

bidang sentuh antara udara dan air sehingga proses penguapan menjadi lebih baik. Pada pendinginan sistem evaporatif, penguapan merupakan gaya penyebab utama penurunan suhu. Peranan pengupan terhadap penurunan suhu ditunjukkan melalui perhitungan jumlah air yang menguap, dimana dengan persentase air menguap berkisar antara 7,1% sampai 9,5 % dapat menurunkan suhu air menjadi 23.5 ^{o}C sampai 25,8 ^{o}C.

Dari segi rancang-bangun, perlu dilakukan perbaikan terhadap sistem isolasi dinding gudang untuk memperkecil aliran kalor dari luar ke dalam sistem.

c. Simulasi

Model matematis yang digunakan untuk melakukan simulasi sebaran suhu dalam mesin pendingin sistem evaporatif adalah model yang dikembangkan oleh Stoecker (1982). Bagan alir pemecahan model tersebut ditunjukkan pada Gambar 7.

Verifikasi model simulasi tersebut memberikan koefisien korelasi berkisar antara 0,91 dan 0,98, yang merupakan peunjuk kemampuan model untuk menduga penampilan nyata sistem pendinginan evaporatif. Perbandingan hasil simulasi dengan hasil pengukuran untuk model menara pendingin ditunjukkan pada Tabel 3.

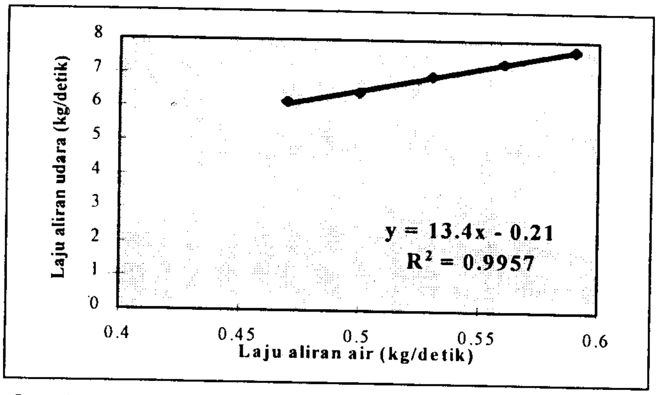
Melalui model simulasi tersebut dapat dipelajari hubungan antara laju aliran air (L) dan laju aliran udara (G) terhadap penurunan suhu didalam sistem. Hasil 'simulasi menunjukan bahwa peningkatan laju aliran air dan penurunan laju aliran udara akan menurunkan suhu udara dalam sistem. Meskipun demikian, batas penurunan suhu adalah suhu bola basah udara yang masuk ke sistem, sehingga diharapkan terdapat suatu nilai optimal perbandingan antara laju aliran udara dan aliran air. Berdasarkan hasil simulasi, suhu optimum dalam sistem dapat dicapai pada kondisi dimana hubungan antara laju aliran air dan laju aliran udara memenuhi persamaan (5), dan ditunjukkan seperti pada Gambar 8.

$$G = 13{,}4L - 0{,}21 \qquad (5)$$

Tabel 3. Perbandingan hasil simulasi dengan pengukuran sebaran suhu di dalam menara pendingin

Segmen	Nilai tengah suhu air (C)	h_a rata-rata (kJ/kg)	h_l rata-rata (kJ/kg)	$\frac{1}{(h_i - h_a)_m}$	$\frac{h_c \Delta A}{2GCp_m}$	T_u (°C, simulasi)	T_u (°C, pengukuran)
T1	24.3	84.8	73.5	-0.09	-0.01	25.1	24.7
T2	25.1	84.5	76.9	-0.13	-0.02	25.1	24.6
T3	25.9	84.3	80.4	-0.26	-0.03	25.1	25.0
T4	26.8	84.0	84.1	25.21	3.23	25.2	25.8
Koefisien korelasi data						0.98	

Catatan data-data masukan:
Laju aliran air : 0.63 kg/det.
Laju aliran udara : 8.44 kg/det.
Suhu udara masuk (b.k) : 31.0 °C
Suhu udara masuk (b.b) : 26.7 °C



Gambar 8. Hubungan antara laju aliran air (L) dengan laju aliran udara (G) untuk menghasilkan suhu optimum dalam sistem.

KESIMPULAN

Beberapa kesimpulan yang dapat dipetik dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Hampiran dan kisaran yang dapat dicapai oleh sistem pendinginan evaporatif dengan model menara pendingin dan gudang pendingin, masing-masing berkisar pada 0,5 ^{o}C dan 1,0 ^{o}C.
2. Kinerja sistem pendingin evaporatif yang didisain dapat ditingkatkan dengan mengoptimalkan kerja kipas, pompa air dan nosel, serta memperbaiki sistem isolasi dinding.
3. Berdasarkan simulasi, suhu optimum dalam sistem dapat diperoleh dengan perbandingan laju aliran air dan udara seperti ditunjukkan pada persamaan (5).

DAFTAR PUSTAKA

Arismunandar, Wiranto dan Heizo Saito. 1991. Penyegaran Udara. PT Pradnya Paramita. Jakarta. Indonesia.

Hedi Ramdhan Rismawan, 1998. Mempelajari Sebaran Suhu pada Gudang Pendingin Hortikultura dengan Sistem Pendinginan Evaporatif. Skripsi, Jurusan Teknik Pertanian, FATETA-IPB

Isabela Silalahi. 1997. Disain Tangki Evaporasi Pendingin Air dengan Sistem Cooling Tower untuk Pengkondisian Udara di Ruang Fermentasi Teh Hitam Orthodox, Skripsi, Jurusan Teknik Pertanian, FATETA, IPB

Pantastico, E. B. 1989. Fisiologi Pasca Panen. Penerjemah Kamariyani. Gajah Mada University Press. Yogyakarta.

Ryall, A. L., and W.J. Lipton. 1982. Handling, Transportation and Storage of Fruits and Vegetables. AVI Publishing Company, Inc. Westport. Connecticut. USA.

Sultoni, M.A., 1994. Petunjuk Teknis Pengolahan Teh. Pusat Penelitian Teh dan Kina. Gambung, Jawa Barat.

Stoecker, W.F. and J. W. Jones. 1987. Refrigeration and air conditioning. McGraw-Hill Book, Co., Singapore.

Tambunan, A. H., R. Hasbullah, dan S. Suryana, 1997. Desain Gudang Penyimpanan Sementara yang Tepat Guna untuk Sayuran Dan Buahan. Laporan Proyek Vucer 96, DP3M, Dirjen Dikti, Depdikbud.

Daftar Notasi

hc	=	koefisien konveksi udara, W/m^{2}K
ΔA	=	luas permukaan penguapan ,m^2
Cp_m	=	panas jenis udara ,kJ/kg K
h_a	=	enthalpi udara masuk, kJ/kg
h_i	=	enthalpi edara jenuh ,kJ/kg
L	=	laju aliran air ,kg/det
G	=	laju aliran air ,kg/det
T_u	=	suhu udara masuk ^{0}C
T_a	=	suhu air masuk ^{0}C