

Review Hasil Penelitian

EVAPORATIVE COOLING TECHNOLOGY TO PROLONG SHELF LIFE STORAGE OF FRESH FRUITS AND VEGETABLE

TEKNOLOGI PENDINGIN EVAPORASI (EVAPORATIVE COOLING) UNTUK MEMPERPANJANG UMUR SIMPAN BUAH DAN SAYURAN SEGAR

Mhd. Iqbal Nusa

Program Studi Ilmu dan Teknologi Pangan, Fakultas Pertanian UMSU Medan, Indonesia

Email:

ABSTRACT

Evaporative cooling technology could have used to postharvest handling fresh fruits and vegetables. This paper explains about; the principle cooling, classification and type of evaporative cooler have used for prolong shelf life of fresh fruits and vegetables, a design process of evaporative cooler. Main function of evaporative cooler operation was attained to drop temperature and increased relative humidity of storage room cooling. This condition could minimize destroyed rate of material and prolong shelf life as well as down activity enzymatic and respiration. The increasing relative humidity could retard water losses and gas ethylene activity and production. Handling and low temperature storage was physical method available to control losses of postharvest products. An application of low cost storage system was principle of evaporative cooling in storage of fruits and vegetable. Evaporative cooling as physical phenomenon where moisture evaporates at wet material surface to ambient atmosphere interface it other, so moist material temperature was drop namely cooling process. Dry bulb temperature and wet bulb temperature difference of air in let and out let system was result of evaporative cooling did. Evaporative cooler designed was system of components namely shelves and room cooling (cabinet), cooling fan, and cooling pad.

Key word: evaporative cooling, cooling pad, prolong shelf life storage fruits and vegetables

ABSTRAK

Teknologi pendinginan evaporasi telah digunakan untuk penanganan pascapanen buah-buahan dan sayuran segar. Paper ini menjelaskan tentang prinsip kerja pendinginan, klasifikasi dan tipe alat pendingin evaporasi yang sudah digunakan untuk memperpanjang umur penyimpanan buah-buahan dan sayuran segar, suatu proses rancangan prototype alat pendinginan evaporasi. Fungsi utama operasi pendingin evaporasi adalah dicapainya penurunan suhu dan meningkatnya kelembapan relative udara ruangan penyimpanan dingin. Keadaan ini dapat mengurangi tingkat kerusakan bahan dan akan memperpanjang umur penyimpanan melalui: penurunan aktivitas enzimatis dan respirasi. Kelembapan relative yang tinggi akan menghambat kehilangan air dari jaringan, penurunan aktivitas produksi gas ethylene serta kegiatan metabolisme lainnya. Penanganan dan penyimpanan dengan suhu rendah merupakan metode fisik yang dapat dimanfaatkan untuk mengontrol kehilangan hasil pascapanen. Suatu penerapan sistem penyimpanan dengan biaya yang rendah adalah prinsip pendinginan evaporasi (evaporative cooling) pada penyimpanan buah dan sayuran segar. Pendinginan evaporasi merupakan fenomena fisik dimana terjadi penguapan uap air dari permukaan bahan basah ke atmosfer sekitarnya akibat kontak keduanya, sehingga suhu bahan basah tersebut akan menurun atau mengalami proses pendinginan. Perbedaan Temperatur/suhu bola basah dan suhu bola kering udara yang masuk dan keluar sistem adalah ukuran dari pendinginan evaporasi yang terjadi. Rancangan alat pendingin evaporasi merupakan sistem dari komponen-komponen antara lain rak dan ruang pendingin (cabinet), kipas pendingin (cooling fan), dan transmisi medium pendingin (cooling pad).

Kata kunci: Pendinginan evaporasi, cooling pad, umur simpan buah dan sayuran segar

A. PENDAHULUAN

Kehilangan hasil panen pada komoditi buah dan sayuran sangat besar sekali terjadi di Negara yang sedang berkembang akibat dari tidak memadai fasilitas penyimpanan hasil panen. Kualitas buah dan sayuran segar ditentukan oleh penanganan pascapanennya, pengangkutan, dan penyimpanannya [1]. Buah dan sayuran tropis dan subtropis sangat rentan terhadap kerusakan selama pengangkutan dan penyimpanan karena tergolong komoditi yang

mudah rusak (perishable) [2]. Kader [3] memperkirakan besarnya kehilangan hasil pascapanen buah dan sayuran sekitar 5 – 25% di Negara maju, hingga 20 – 50 % di Negara berkembang.

Penting sekali upaya pengawetan terhadap buah dan sayuran segar agar dapat dipertahankan ketersediaan sepanjang tahun dengan nilai gizi yang tetap baik [4]. Penanganan dan penyimpanan dengan suhu rendah merupakan metode fisik yang dapat

dilakukan untuk mengontrol kehilangan hasil pascapanen [5]. Suhu buah dan sayuran segar dan suhu udara disekitarnya dapat diturunkan dengan teknik pendinginan paksa (forced air cooling), hidro cooling, vacuum cooling, dan adiabatic cooling [6]. Suatu aspek yang dipertimbangkan pada penanganan buah dan sayur adalah suhu dan kelembaban relative udara lingkungan penyimpanan. Untuk produk hasil panen segar metode peningkatan kelembaban relative udara penyimpanan untuk menurunkan defisit tekanan uap air udara (Vapour Pressure Deficit (VPD)) akan memperlambat laju kehilangan air dan aktifitas metabolit [7]. Penurunan suhu akan memperlambat laju proses respirasi dan aktifitas mikro organism yang akan merusak buah dan sayuran segar selama penyimpanan [8].

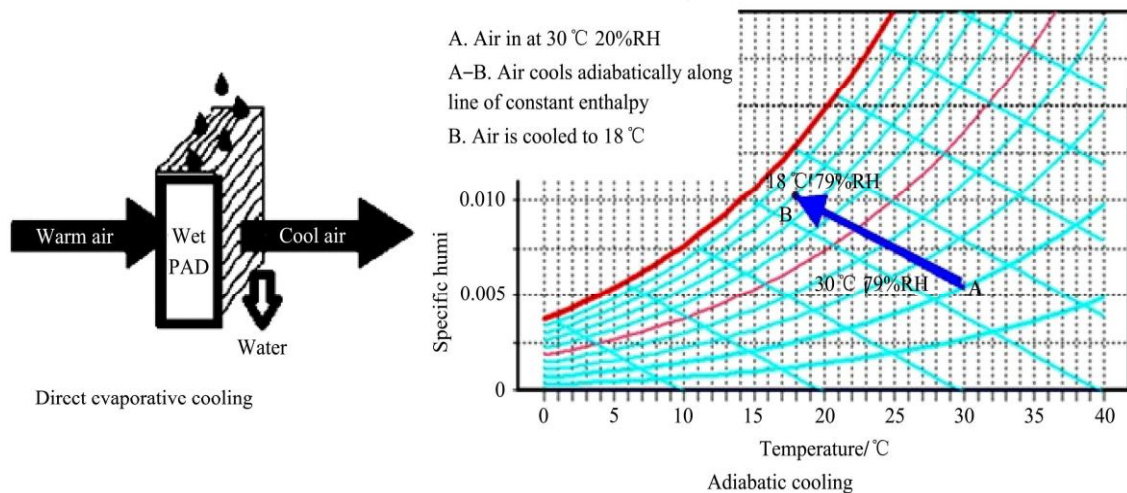
Pendinginan evaporasi (evaporative cooling) sudah digunakan untuk mencapai kondisi lingkungan yang menguntungkan di rumah kaca (green house) [9], animasi dan struktur penyimpanan buah dan sayuran [10-11]. Prinsip dasar pendinginan penguapan adalah mengkonversi panas sensible menjadi panas laten penguapan air. Udara panas dan kering atau kelembaban relative rendah dan suhu relative tinggi dialirkan melewati dinding berpori yang dibasahi yang berfungsi sebagai medium pendingin (cooling pad), maka udara yang melewati dinding berpori meningkat kelembaban relatifnya udara menjadi basah akibat penguapan air dari medium pendingin. Energi panas untuk menguapkan air atau panas laten penguapan diambil dari lingkungan yang berperan sebagai ruangan pendingin. Perbedaan Temperatur/suhu bola basah dan suhu bola kering udara yang masuk dan keluar sistem adalah ukuran dari potensi pendinginan evaporasi yang terjadi. Besarnya perbedaan kedua suhu tersebut akan menentukan besarnya efek pendinginan yang dapat terjadi [12].

B. TUJUAN PENULISAN

Penyusunan piper ini membahas teknologi pendinginan evaporasi pada penanganan pascapanen buah dan sayuran segar yaitu menjelaskan tentang klasifikasi dan tipe alat pendingin evaporasi yang sudah digunakan untuk memperpanjang umur simpan buah dan sayuran segar. Kemudian menjelaskan rangkaian proses rancangan prototype alat dari sistem pendinginan evaporasi.

Prinsip pendinginan evaporasi

Pendinginan evaporasi adalah fenomena fisik dimana penguapan air dari media (cooling pad) yang basah ke udara yang mengalir dan terjadi kontak keduanya akan menyebabkan pendinginan pada media. Efek pendinginan ini akibat dari kebutuhan panas penguapan air yang diambil dari kandungan panas media dan udara agar proses penguapan air tetap berlangsung. Udara yang berperan dalam proses penguapan mengalami perubahan secara psikhrometrik yaitu terjadi perbedaan atau perubahan suhu bola kering (dry bulb temperature) dan suhu bola basah (wet bulb temperature) udara sebelum dan sesudah kontak dengan media basah. Besarnya perbedaan kedua suhu tersebut dari kondisi udara yang digunakan, akan menentukan terhadap besarnya efek pendinginan yang terjadi [12]. Pendinginan ruangan penyimpanan pada alat pendingin evaporasi dapat terjadi melalui proses aktifitas penguapan air dari permukaan medium pendingin yang dilalui aliran udara. Energi panas untuk menguapkan air atau panas laten penguapan air diambil dari lingkungan sekitarnya yaitu kandungan panas yang ada dalam ruangan penyimpanan dapat dijelaskan pada gambar 1.



Gambar 1. Skema pendinginan evaporasi tipe langsung

Karakteristik bahan media (cooling pad)

Air digunakan sebagai fluida kerja dalam sistem proses pendinginan evaporasi. Keberadaan air dalam sistem sangat tergantung pada kemampuan media dalam menyerap air, dan intensitas kontak permukaan media dan aliran udara akan sangat menentukan terhadap intensitas proses penguapan, sehingga karakteristik bahan media yang berpori akan mendukung fungsi media pendingin ini. Beberapa bahan yang tergolong bahan organik dan anorganik telah diuji sebagai media (cooling pad) dalam sistem pendinginan evaporasi [13-16].

Klasifikasi metode pendinginan evaporasi

Secara mendasar sistem pendinginan evaporasi dapat dibedakan kedalam dua tipe yaitu sistem pendingin evaporasi bekerja secara langsung (direct) dan sistem pendinginan evaporasi bekerja secara tidak langsung (indirect) [17]. Pada sistem pendinginan evaporasi yang bekerja secara langsung aliran udara menembus atau melewati media (cooling pad) sebelum masuk ke ruang pendingin. Sedangkan pada sistem pendinginan evaporasi yang bekerja secara tidak langsung udara dikondisikan menjadi dingin dengan melewatkannya pada alat penukar panas yang berfungsi sebagai alat pendingin sebelum aliran udara kemudian mengalir media (cooling pad) [18]. Sistem pendinginan evaporasi bekerja secara langsung dapat dikelompokkan sebagai sistem pendinginan aktif yang menggunakan kipas atau blower untuk menggerakkan udara lingkungan (ambient temperature) melewati media basah (wet pad) untuk pekondisian udara sebelum masuk ke sistem ruang pendingin. Pada sistem pendinginan pasif aliran udara bersifat alamiah tanpa menggunakan alat yang menggerakkan dan masih sangat tergantung kondisi angin setempat [19].

Pendinginan evaporasi tipe pasif

Tipe pendinginan evaporasi ini sudah dilakukan cukup lama dimana udara sekitarnya mengalir melewati media basah (cooling pad) maka suhu udara menurun dan kelembaban udara akan meningkat. Kondisi dingin dan kelembaban udara yang tinggi akan menciptakan kondisi ruang penyimpanan yang dapat mengawetkan hasil pertanian seperti buah dan sayuran segar. Proses perpindahan panas secara langsung pada pendinginan evaporasi berlangsung secara adiabatik, maka penurunan suhu udara berlangsung di sepanjang garis entalpi yang tetap pada diagram psikhrometrik. Kemampuan udara menguapkan air dari media basah sangat tergantung pada suhu udara sekitar yang digunakan.

Keterbatasan kinerja dan penerapan metode ini sangat terkait dengan kondisi geografis daerah.

Pendinginan evaporasi tipe aktif (mekanis)

Kondisi iklim yang berbeda-beda pada setiap daerah maka penerapan sistem pendingin evaporasi dapat menjadi kendala di suatu daerah tertentu akibat dari kecepatan aliran udara yang ada. Pada kondisi demikian perlu dikembangkan alat pendingin evaporasi yang bekerja secara aktif. Operasi pendinginan evaporasi secara aktif menggunakan alat kipas untuk mendorong udara agar terjadi aliran udara melewati media pendingin. Untuk mempertahankan kondisi media tetap basah, digunakan pompa yang akan mengalirkan air secara terus menerus dari sumber air ke media.

Penggunaan pendinginan evaporasi untuk pengawetan buah-buahan dan sayuran

Fungsi utama dari pendinginan evaporasi adalah menurunkan suhu dan meningkatkan kelembaban relatif udara sekitar sebelum masuk ke dalam ruang simpan dengan melewatkannya pada media basah yang berfungsi sebagai media pendingin (cooling pad) yang secara khusus terjadi pada sistem pendingin evaporasi secara langsung. Sudah dilaporkan bahwa untuk pengawetan buah dan sayuran kondisi penyimpanan dengan suhu rendah dan kelembaban relative tinggi akan menurunkan aktifitas patologis sehingga akan memperpanjang waktu penyimpanan [14-20]. Penurunan suhu dan meningkatkan kelembaban udara dalam ruang penyimpanan akan menekan aktifitas enzyme dan respirasi buah dan sayuran, sehingga menghambat kehilangan kandungan air, menurunkan laju pembentukan gas ethilen, dan aktifitas metabolisme [7-21].

Dari studi literatur FAO [22] dijelaskan penggunaan packing house sebagai ruang penyimpanan yang dibangun dari bahan jerami digunakan untuk pendinginan hasil pertanian. Bahan jerami adalah bahan alami yang tersedia dan dihasilkan dari kegiatan pertanian setempat dan bersifat menyerap air dan berpori sehingga dapat mempertahankan kelembaban ruangan dalam packing house. Bahan jerami basah ini dipakai sebagai dinding dan atap dari packing house. Aliran udara sekitarnya secara alamiah akan menguapkan air dari bahan jerami dan memberikan efek pendinginan ke dalam ruang penyimpanan. Sistem pendinginan ini sesuai pada daerah dengan tingkat kelembaban udara udara sekitar yang rendah. Redulla [23] melaporkan konstruksi alat pendingin evaporasi tetes sederhana dari bahan bamboo. Pengoperasian alat udara bersirkulasi secara alamiah dan untuk kinerja pendinginan yang

baik alat ditempatkan pada posisi terlindung dan ventilasi baik.

Kelayakan sistem pendingin evaporasi yang bekerja secara pasif untuk penyimpanan tomat sudah dipelajari, menunjukkan terjadi penurunan kehilangan air buah tomat sebesar enam kali dibandingkan besar kehilangan air buah tomat yang disimpan pada kondisi udara sekitar. Pembentukan dan perkembangan lycopen meningkat secara nyata pada penyimpanan buah tomat pada sistem pendingin evaporasi [24].

Prosedur rancangan dan pengembangan alat

Rancangan alat pendingin evaporasi merupakan sistem yang terdiri dari komponen-komponen dasar utama antara lain rak dan ruang pendingin (cabinet), kipas pendingin (cooling fan), dan transmisi medium pendingin (cooling pad)

Rancangan rak dan ruang pendingin (cabinet)

Cabinet merupakan salah satu komponen penting dari sistem pendinginan penguapan, yaitu ruangan dengan dinding berlapis bahan insulasi terhadap panas, pada lapisan dalam dinding cabinet dipasang selapis

bahan yang berfungsi sebagai transmisi medium pendingin (cooling pad) yang akan mengambil panas dari bahan yang akan didinginkan. Karakteristik dinding luar cabinet dirancang bersifat penghantar panas yang kecil atau mempunyai nilai tahanan panas yang besar agar beban pendinginan akibat pengaruh suhu lingkungan menjadi kecil, yaitu dengan menambahkan lapisan bahan yang bersifat insulator terhadap panas yang dapat dihitung menggunakan formula (1) dan (2).

Menggunakan persamaan (1) dan (2) diatas dan nilai tahanan panas lapisan dinding cabinet, maka diperoleh koefisien hantaran panas total dinding cabinet (U) = 0,45W/m²K

Pada rancangan alat diperhitungkan gradient suhu yaitu antara suhu udara sekitar (temperature ambient) pada 32 C dan suhu ruangan pendingin sekitar 16 C yang sesuai untuk penyimpanan dingin buah dan sayuran tertentu seperti wortel, lettuce, dan tomat (Dossat,1997). Sehingga kebocoran panas lingkungan sekitar yang masuk kedalam ruangan penyimpanan dingin di dalam cabinet dapat dihitung menggunakan persamaan (3).

$$U = \frac{1}{\sum R} \dots\dots\dots (1)$$

$$\sum R = R_i + R_1 + R_2 + R_3 + R_0 \dots\dots\dots (2)$$

Dimana :

$\sum R$ adalah jumlah tahanan panas total dinding cabinet,(m²K/W)

U adalah koefisien penghantar panas total dinding cabinet,(W/m²K)

R_i adalah tahanan panas dinding dalam,(m²K/W)

R_1 adalah tahanan panas lapisan galvanized mild steel,(m²K/W)

R_2 adalah tahanan panas lapisan polystyrene foam,(m²K/W)

R_0 adalah tahanan panas dinding luar,(m²K/W)

Jenis material pelapis dinding cabinet dipilih bahan yang mempunyai sifat tahanan panas yang besar yaitu polystyrene foam yang tersusun seperti pada tabel 1.

Tabel 1. Ketebalan lapisan dinding cabinet dan besar tahanan panas bahan yang digunakan [25]

Bahan lapisan dinding	Nilai tahanan panas,(m ² K/W)	Ketebalan,x (m)
Permukaan film udara	0,121	
Galvanized mild steel	0,188	0,025
Polystyrene foam	1,366	0,025
Stainless steel	0,520	0,003
Film udara	0,030	

$$Q_{ht} = \frac{t_0 - t_3}{\sum R} \dots\dots\dots(3)$$

Dimana, t_0 adalah suhu udara sekitar, 32 C, dan t_3 suhu di dalam ruangan pendingin 16 C, dan $\sum R$ tahanan perpindahan panas total dinding cabinet, 2,225 m2K/W, dengan menggunakan persamaan (3), maka kebocoran panas melewati dinding cabinet adalah 7,191 W/m2K. Berdasarkan nilai besar kebocoran panas ini dapat ditentukan perbedaan suhu dari setiap lapisan dinding cabinet dengan memasukan nilai tahanan panas setiap bahan lapisan yang digunakan.

Analisa Perpindahan Panas

Analisa perpindahan panas melewati dinding cabinet berdasarkan karakteristik bahan dari setiap lapisan yang digunakan, dimana jumlah panas yang berpindah secara konduksi dapat dihitung menggunakan persamaan berikut

$$Q_{hg} = \frac{kA\Delta T}{x} \dots\dots\dots(4)$$

Dimana

- Q_{hg} jumlah panas yang dihantarkan melewati lapisan dinding cabinet,(W/m2)
- k konduktifitas daya hantaran panas bahan penyusun dinding cabinet,(W/mK)
- A adalah luar permukaan hantaran panas bahan(m2)
- ΔT Perbedaan suhu (C)
- x adalah ketebalan bahan dinding cabinet

Keseimbangan Panas

Persamaan keseimbangan pada fenomena hantaran panas konduksi melewati dinding cabinet dapat dinyatakan seperti (5-7). Dengan

mesubstitusikan nilai parameter, diperoleh $Q_n = 3415$ W/m2.

Berdasarkan hubungan besarnya energy yang dibangkitkan dengan fenomena hantaran panas pada dinding cabinet, maka dapat dinyatakan sebagai berikut

$$Q_n = \frac{\text{Energi yang dibangkitkan}}{A} \dots (8)$$

Dimana; A adalah total luas permukaan dinding ruangan pendingin(m2), Q_n aliran panas melewati lapisan dinding cabinet ,(W/m2), sehingga besarnya pembangkitan energy sistem dapat dihitung. Besaran energy ini sebagai dasar pertimbangan dalam menentukan kebutuhan tenaga komponen untuk menggerakkan kipas penghisap udara dan pompa air untuk membasahi medium pendingin (cooling pad) agar kinerja sistem pendingin penguapan yang dirancang bekerja efektif terhadap pengaruh kondisi lingkungannya.

Pemilihan komponen media pendingin (cooling pad)

Mengevaluasi kinerja suatu sistem pendinginan evaporasi diperlukan pemodelan fenomena yang terjadi pada komponen cooling pad. Pada Gambar berikut adalah konstruksi dari komponen medium pendingin ruangan melalui sirkulasi air yang digunakan untuk mempertahankan cooling pad tetap dalam kondisi kelembaban yang tinggi.

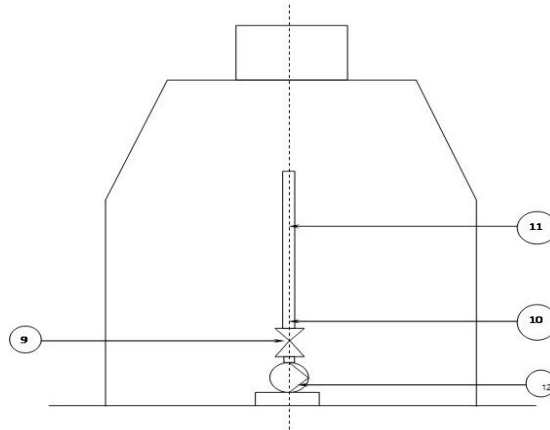
$$(t_o - t_1) + (t_1 - t_2) + (t_2 - t_3) = \left[\frac{Q_{hgs} x_{gs}}{k_{gs} A_{gs}} + \frac{Q_{hp} x_p}{k_p A_p} + \frac{Q_{hss} x_{ss}}{k_{ss} x_{ss}} \right] \dots\dots\dots (5)$$

Atau

$$(t_o - t_3) = \left[\frac{Q_{hgs} x_{gs}}{k_{gs} A_{gs}} + \frac{Q_{hp} x_p}{k_p A_p} + \frac{Q_{hss} x_{ss}}{k_{ss} x_{ss}} \right] \dots\dots\dots (6)$$

Atau

$$(t_o - t_3) = \left[\frac{x_{gs}}{k_{gs} A_{gs}} + \frac{x_p}{k_p A_p} + \frac{x_{ss}}{k_{ss} x_{ss}} \right] Q_n \dots\dots\dots (7)$$



Gambar 2. Komponen medium pendingin (cooling pad) pada sistem alat pendingin evaporasi, katuppenghubung pompa (9), tape (10), dan pipa pengantar air (11), dan pompa (12).

Besarnya laju penguapan air dari permukaan media pendingin (cooling pad) sangat tergantung pada kecepatan aliran udara yang melewati media pendingin, hasil kinerja pompa penghisap udara, ketebalan bahan media, dan tingkat kejenuhan air dari media pendingin merupakan fungsi dari volume aliran air yang membasahi medium pendingin [26-27].

Kecepatan aliran udara

Kecepatan aliran udara sebagai kinerja dari dorongan kipas untuk sistem pendinginan evaporasi ditentukan menggunakan persamaan Bernoulli sebagai berikut

$$\frac{P_1}{\rho_1} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\rho_2} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + headloss \quad (9)$$

Aliran udara pada sistem dorongan pompa udara bersifat kompresibel pada tekanan atmosfer dibagian hisap dan saluran udara ke luar dari

kipas sehingga berlaku $P_1 = P_2$ dan

$\rho_1 = \rho_2$ maka untuk sistem kipas berlaku

V_1 dan $Z_2 = 0$, sehingga persamaan (9) dapat ditulis sebagai berikut

$$Z_1 = \frac{V_2^2}{2g} + headloss \dots\dots\dots (10)$$

Kehilangan energy tekan (head loss) pada bagian saluran udara dengan bentuk conus akan terjadi, aliran udara mengalami tahanan aliran akibat gesekan yang dapat dinyatakan dengan persamaan

$$H_f = \frac{4fLV^2}{2gd} \dots\dots\dots (11)$$

Dimana :

H_f adalah kehilangan energy tekanan aliran (head loss)

f adalah faktor gesekan, konstanta atau $16/Re$

L adalah panjang bagian conus, 0,4 (m)

d adalah diameter bagian conus, 0,260 (m)

V adalah kecepatan aliran udara. (m/detik)

g adalah konstanta gravitasi, 9,81 m/s²

Dengan mensubstitusikan nilai parameter diatas kedalam persamaan (11) maka

$$H_f = \frac{4 * 0.0106 * 0.4 * V^2}{2 * 9.81 * 0.260}$$

$$H_f = 3.33188 * 10^{-3} * V^2$$

Besaran kehilangan tinggi tekan disubstitusikan dengan persamaan (10), sehingga diperoleh kecepatan aliran udara sebagai kinerja dari dorongan kipas

$$Z_1 = V^2 (5.43019 * 10^{-2} + 3.33188 * 10^{-3})$$

Posisi datum dari sistem aliran udara, sehingga

$Z_1 = 1$, maka laju aliran udara rancangan sebagai kerja kipas dapat dihitung sebagai berikut

$$1 = V^2 (5.43019 * 10^{-2} + 3.33188 * 10^{-3})$$

Maka $V = 4,3m/s$

C. KESIMPULAN

Proses pendinginan evaporasi menggunakan prinsip konservasi energi pada media pendingin (cooling pad) yang dikondisikan tetap lembab dan udara yang mengalir melewati media tersebut. Kinerja proses pendinginan evaporasi yang bekerja secara langsung dan bersifat pasif (Direct Evaporative Cooling Passive Type) sangat tergantung pada kondisi atmosfer udara yang sangat bervariasi sesuai letak geografis wilayah penerapan. Pengembangan rancangan alat

pendingin evaporasi yang bekerja secara aktif (Direct Evaporative Cooling Active Mechanical Type) adalah untuk menghindari ketergantungan terhadap letak geografis wilayah penerapan. Rancangan alat pendingin evaporasi yang bekerja secara aktif terdiri dari komponen dasar utama antara lain rak dan ruang pendingin (cabinet), kipas pendingin (cooling fan), dan transmisi medium pendingin (cooling pad).

DAFTAR PUSTAKA

- Haidar J, Demisse, T. 1999. Malnutrition and Xerophthalmia in rural communities of Ethiopia. *East Afr. Med*, 10:590-593
- Mitra, S.K, Baldwin, E.Z. 1997. Postharvest physiology and storage of tropical and subtropical fruits. CAB International. West Bengal, India. 85-122 pp
- Kader A.A. 1992. Postharvest Technology of Horticultural Crops. University of California. Division of Agriculture and Natural Resources.
- CFNEU. (2003). Community Food and Nutrition Extension Unit. D-II/183. Kidwai Nagar (West). N.Delhi-110023 511. <http://wed.nic.in/us.5.html>.
- Seyoum TW, Woldetsadik K (2004). Forced ventilation evaporative cooling of fruits: A case study on Banana, Papaya, and Orange. Lemon and Mandarin. *Trop. Agric. J.*, 81(3): 179-185.
- Thompson F, Mitchell FG, Runsey TR, Kasmire RF, Crisosto CH (1998). Commercial cooling of fruits, vegetables, and flowers. UC Davis DANR Publications, 21: 56-61.
- Katsoulas N, Baille A, Kittas C. Effect of misting on transpiration and conductance of a greenhouse rose canopy. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2001; 106: 233-47.
- Barre, H.J; Sammet, L.L. and Nelson, G.L. 1988. Environmental and Functional Engineering of Agricultural Building. Van Nostrand Reinhold Company. New York
- Jain D, Tiwari, G.N. 2002. Modelling and optimal design of evaporative cooling system in control environment greenhouse. *Energy Conversion Manage.* 43(16):2235-2250
- Helsen A, Willmot JJ (1991). Wet air cooling of fruits, vegetables and flowers. Current practice in Europe. Technical innovation in freezing and refrigeration of fruits and vegetables, International Institute of Refrigeration, Paris, France, pp. 169-77.
- Umbarker, S.P, Bonde, R.S, Kalase, M.N. 1991. Evaporatively cooled storage stature for oranges (citrus). *India J. Agric. Eng.*: 1(1): 26-32
- Watt, R. 1986. Evaporative cooling handbook. Second edition. Chapman and Hall. New York
- Xuan Y M, Xiao F, Niu X F, Huang X, Wang S W. Research and application of evaporative cooling in China: A review (I). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2012; 16(5): 3535-3546. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2012.01.052>
- Adebisi, O.W, Igbeka, J.C, Olurin, T.O. (2009). Performance evaluation of absorbant materials in evaporative cooling system for the storage of fruits and vegetables. *International Journal of Food Engineering*. 5 (3): 1-15. <http://dx.doi.org/10.2202/1556-3758.1376>
- Al-Sulaiman F. Evaluation of the performance of local fibers in evaporative cooling. *Energy Conversion and Management*, 2002; 43: 2267-2273. [http://dx.doi.org/10.1016/S0196-8904\(01\)00121-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0196-8904(01)00121-2)
- Manuwa S I, Odey S O. Evaluation of pads and geometrical shapes for constructing evaporative cooling system. *Modern Applied Science*, 2012; 6(6): 45-53. <http://dx.doi.org/10.5539/mas.v6n6p45>
- Otterbein R. Installing and maintaining evaporative coolers. May/June 1996. Home Energy Magazine. <http://www.homeenergy.org/archive/hem.dis.anl.gov/ehem/96/960511.html>
- Jain D. 2006. Development and testing of two stage evaporative cooler. *Building and Environment*. 42: 2549-2554
- Ndukwu M C, Manuwa S I, Olukunle O J, Oluwalana I B. Development of an active evaporative cooling system for short-term storage of fruits and vegetable in a tropical climate. *Agric Eng Int: CIGR Journal*, 2013; 15(4): 307-313.
- Greenshill T M. Growing better vegetables. Evans brothers, London, 1968.
- Boyette M D, Wilson, L G, Estes E A. Introduction to proper postharvest cooling and handling methods. North Carolina Cooperative Extension, AG-414-1, 2013. USDA Handbook no. 66. <http://www.bae.ncsu.edu/programs/>
- FAO Yearbook. (1995). FAO statistics Series no. 132. Rome
- Redulla, A. 1984. Keeping perishables without refrigeration. Use of drip cooler.

- Appropriate Postharvest Technology.1(2):
13-15
24. Thiagu,R.,Chand,N,Habibunnisa,E.A,
Prasad,B. 1990. Effect evaporative cooling
storage on ripening and quality of tomato.
Journal of Food Quality. 14: 127-144
 25. ASHRAE Handbook of Standards (2002).
S.I Edition, Chapter 23."Refrigeration and
air conditioning Section.
 26. Wiersma,F. 1983. Evaporative cooling in
Ventilation of Agricultural Structures. An
America society of Agricultural Engineers.
Monograph sixth Series. Michigan USA.
 27. Thakur, B.C,Dhingra,D.P. 1983.
Parameters influencing the saturation
efficiency of an evaporative Rusten cooler.
University of Glasgow College of
Agriculture Bulletin. No.115.