

ANALISIS KESALAHAN PERHITUNGAN LAJU ALIRAN UDARA PADA PENDINGINAN RUMAH TANAMAN DENGAN SISTEM PENGKABUTAN

Error Analysis on the Calculation of Air Flow Rate in Greenhouse Cooling with Fogging System

Eni Sumarni¹, Budi Indra Setiawan², Herry Suhardiyanto³

ABSTRACT

Greenhouse cooling with fogging system is important to be studied in improving design of greenhouses. The process is not about cooling the air only but also humidifying. This study aims at evaluating the variables that contribute on error in air flow rate calculation. Furthermore, effects of enthalpy reading from the psychrometric chart on air flow rate calculation has been studied also. Herewith, parameters optimization and error analysis of the air flow rate equation were carried out. Data was taken from a multispan greenhouse which had cover material of PE 150 μm , 105.6 m wide and 205 m length, and three channels consists of 82 nozzles. The result indicates that the enthalpy has more pronounce contribution to determine the air flow rate and it follows successively by temperature and sun radiation. Thus, precise reading of the enthalpy is highly necessary to minimize error of the calculation of the air flow rate. This method of analysis is applicable to find appropriate values of enthalpy and other variables to produce optimum air flow rate in greenhouses.

Keywords : *Greenhouse, Evaporative Cooling, Air Flow Rate, Error Minimization.*

Diterima: 1 Juni 2006; Disetujui: 21 Maret 2007

LATAR BELAKANG

Rumah tanaman (*greenhouse*) merupakan struktur lingkungan yang tertutupi bahan transparan yang mampu meneruskan radiasi surya untuk pertumbuhan tanaman. Penggunaan bahan transparan ini cenderung menaikkan suhu yang bila berlebihan

dapat menyebabkan cekaman pada tanaman (Shen dan Yu, 2002; Shih, 2002). Pendinginan evaporatif (*evaporative cooling*) biasa dipakai untuk pengendalian suhu. Dalam proses pendinginan ini terjadi penurunan suhu udara seiring terjadinya penguapan air (Ozturk, 2003). Energi yang hilang pada saat penguapan tersebut berkontribusi

¹ Jurusan Teknologi Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Jenderal Soedirman, Purwokerto.
Email: amy0879@yahoo.com.

² Guru Besar Departemen Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor.
Email: budindra@ipb.ac.id.

³ Departemen Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor.
Email: herrysuhardiyanto@ipb.ac.id.

terhadap penurunan suhu. Proses ini tidak hanya mendinginkan udara tetapi juga meningkatkan kelembaban udara melebihi performansi proses pendinginan mekanis (*mechanical cooling*) (Hellickson dan Walker, 1983).

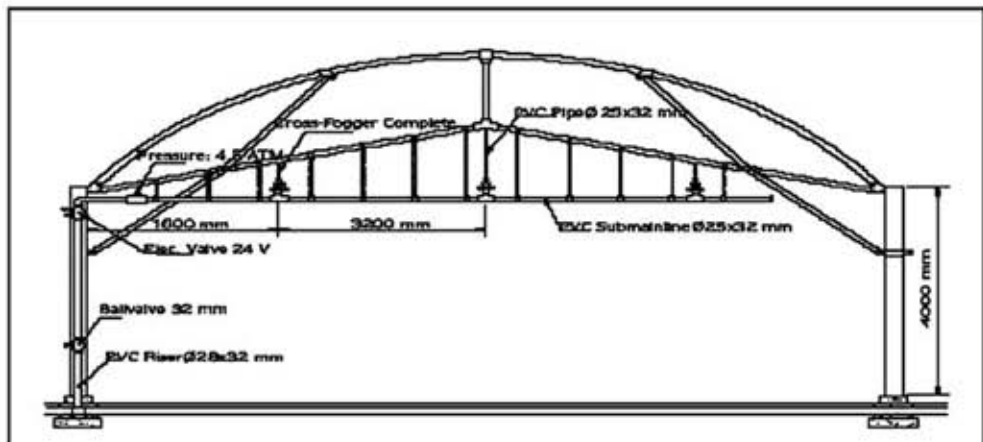
Salah satu metode pendinginan evaporatif yang biasa diterapkan adalah pengkabutan (*fogging*). Metode ini ditujukan untuk memelihara keseragaman suhu dan kelembaban di dalam rumah tanaman. Cara lainnya adalah menggunakan hembusan kipas angin melalui kisi-kisi (*fan-pad*). Biaya pengkabutan diketahui lebih mahal dari pada penggunaan kipas angin tetapi keseragaman suhu dan kelembaban udara dalam rumah tanaman lebih baik (Arbel, *et.al.*, 1999).

Selama ini, efisiensi pendinginan evaporatif berkisar antara 40% dan 70% yang dapat dicapai dengan menggunakan sirkulasi udara dengan kecepatan tinggi (Giacomelli, 1993). Bahan penutup rumah tanaman berpengaruh terhadap efisiensi pendinginan evaporatif. Bahan serat kaca dapat meningkatkan efisiensi pendinginan evaporatif dibandingkan bahan polyethylene (Al Amri, 2000). Pada keadaan mantap proses pendinginan mencapai efisiensi sekitar 80% dan mampu menurunkan suhu rumah

tanaman yang menggunakan atap plastik sampai 10 °C (Kittas *et al.*, 2001). Pendinginan evaporatif lebih efektif memelihara suhu tanaman bila menggunakan ventilasi yang tepat (Seginer, 1994; Fuchs, 1993; Kittas *et al.*, 2001).

Struktur rumah tanaman yang tertutup cenderung menyebabkan udara statis karena itu perpindahan panas dan pergerakan udara menjadi terbatas. Bahan penutup rumah tanaman yang kurang dapat ditembus radiasi gelombang panjang dapat menaikkan suhu rumah tanaman. Neraca panas aliran udara mempengaruhi keseimbangan energi dan massa. Kelembaban lingkungan mempengaruhi transpirasi dan evaporasi tanaman. Keseimbangan kelembaban ditentukan oleh transpirasi tanaman dan pertukaran udara melalui ventilasi. Indikator yang biasa digunakan untuk melihat pertukaran udara dalam rumah tanaman adalah laju aliran udara. Laju ini menunjukkan aliran udara per satuan luas rumah tanaman per waktu.

Tulisan ini bertujuan mengetahui kontribusi variabel-variabel dan pengaruh ketelitian pembacaan entalpi dari *psychrometric chart* terhadap perhitungan laju aliran udara dalam rumah tanaman.



Gambar 1. Skema rumah tanaman dan sistem pengkabutan

BAHAN DAN METODE

Rumah tanaman yang digunakan tersusun dari beberapa atap (tipe *multi span*) dengan bahan penutup polyethylene tebal 150 m, lebar 105,6 m dan panjang 205 m. Seperti terlihat pada Gambar 1, terdapat 3 saluran terdiri atas 82 *nozzles* untuk menghembuskan kabut.

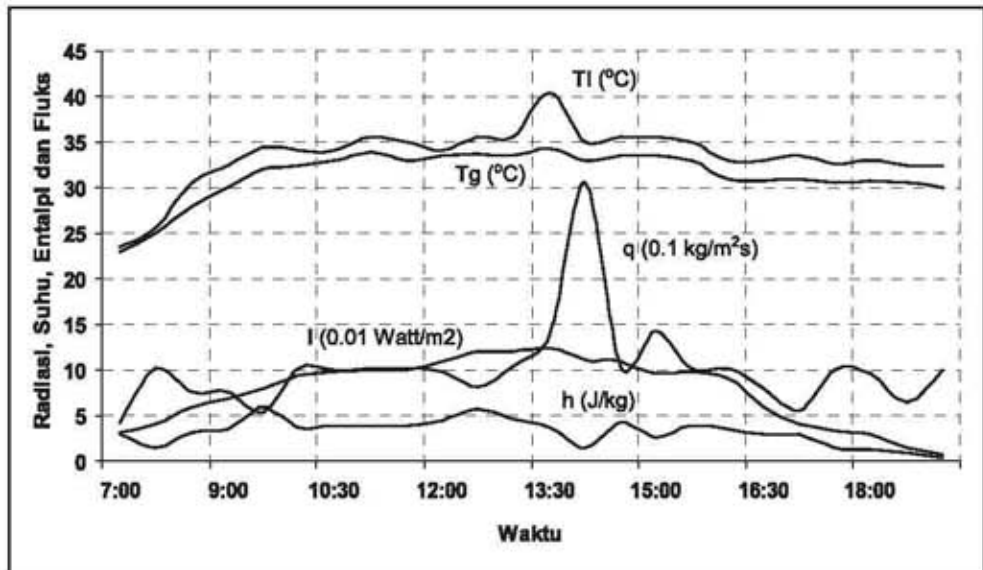
Laju aliran udara dihitung dengan persamaan berikut (Arbel *et al.*, 1999):

$$q = \left[\frac{I\tau\alpha - U(T_x - T_i)}{h} \right] \quad (1)$$

Dimana, q adalah laju aliran udara atau fluks ($\text{kg}/\text{m}^2\text{s}$); I adalah irradiansi matahari (W/m^2); τ adalah transmisivitas bahan penutup ($=0.75$); α adalah koefisien radiasi matahari yang melalui bahan penutup ($0.3\text{--}0.7$) (Ozturk, 2003).; U adalah koefisien kehilangan panas ($1\text{--}8 \text{ W}/\text{m}^2\text{ }^\circ\text{C}$); T_x dan T_i masing-masing adalah suhu udara di dalam dan di luar rumah tanaman ($^\circ\text{C}$); dan h adalah entalpi udara di dalam rumah tanaman (J/kg^{-1}).

Suhu bola basah dan kering diukur menggunakan termometer dengan ketelitian $\pm 0.1 \text{ }^\circ\text{C}$, dan dilakukan pada puncak kanopi setinggi 1.5 m di setiap sisi rumah tanaman. Irradiansi matahari diukur dengan sensor Li-Cor Silicium dengan ketelitian $\pm 0.01 \text{ Watt}/\text{m}^2$. Kecepatan angin diukur dengan anemometer tipe instrumen vektor. Data direkam setiap 30 menit dalam sebuah logger. Entalpi diperoleh dengan cara interpolasi pada Phsycomertichart. Selanjutnya, dengan menggunakan data entalpi tersebut, koefisien kehilangan panas dan radiasi matahari diperoleh dengan cara optimisasi menggunakan Solver (Merupakan sebuah komponen Tools yang terdapat dalam Microsoft Excel), dan sebagai perkiraan awal masing-masing diberikan nilai, $U = 5 \text{ W}/\text{m}^2\text{ }^\circ\text{C}$ dan $\alpha = 0.5$.

Analisis kesalahan untuk melihat kontribusi masing-masing variabel dalam Pers.1 dapat menggunakan metode Root-Mean-Square (Henry, *et.al.*, 1991). Metode ini dipakai pada beberapa kasus analisis kesalahan pada model



Gambar 2. Hubungan laju aliran udara, irradiansi, suhu dan entalpi dalam rumah tanaman

evapotranspirasi (Arif, *et.al.*, 2005), infiltrasi (Askari, *et.al.*, 2006), penentuan panas spesifik bahan pertanian menggunakan Mixture Method (Ropiudin, *et.al.*, 2006), dan beberapa model lainnya (Setiawan dan Setiawan, 2005; Setiawan dan Setiawan, 2006). Di sini, digunakan metode lain, yaitu metode kesalahan absolut (Absolute Error) seperti disajikan Pers.2. Dengan menggunakan metode ini, kontribusi kesalahan masing-masing variabel lebih mudah diamati karena Pers. 2 tersebut berbentuk sistem persamaan aljabar linier.

$$\frac{\partial q}{\partial T_g} = \frac{U}{h} \tag{5}$$

$$\frac{\partial q}{\partial T_l} = -\frac{U}{h} \tag{6}$$

$$\Delta q = \left| \frac{\partial q}{\partial I} \right| \Delta I + \left| \frac{\partial q}{\partial h} \right| \Delta h + \left| \frac{\partial q}{\partial T_g} \right| \Delta T_g + \left| \frac{\partial q}{\partial T_l} \right| \Delta T_l \tag{2}$$

Dimana,

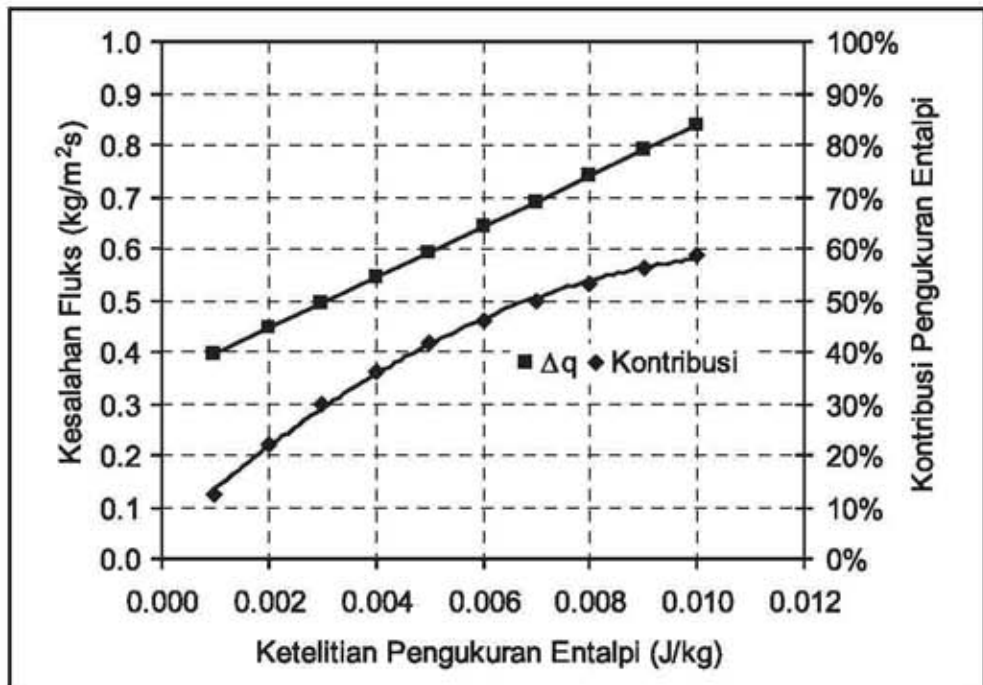
$$\frac{\partial q}{\partial I} = \frac{\tau \cdot \alpha}{h} \tag{3}$$

$$\frac{\partial q}{\partial h} = -\frac{q}{h} \tag{4}$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 2 memperlihatkan hubungan antara fluks dan masing-masing variabel (Pers.1) selama 12 jam dari pukul 7 pagi sampai 7 malam. Fluks mencapai puncaknya 142 kg/m²s pada pukul 3 sore. Koefisien radiasi matahari dan kehilangan panas hasil optimisasi masing-masing adalah 0.518 dan 3.701 W/m²°C, dengan koefisien korelasi sebesar 0.990.

Gambar 3 memperlihatkan hubungan antara perubahan ketelitian pengukuran entalpi (0.001~0.010 J/kg) dan kontribusinya terhadap kesalahan



Gambar 3. Pengaruh ketelitian pengukuran entalpi terhadap perhitungan laju aliran udara

perhitungan laju aliran udara. Kesalahan perhitungan laju aliran udara naik secara linier bila ketelitian alat yang digunakan untuk mengukur entalpi semakin kasar. Hubungan ini dapat diekspresikan dalam bentuk persamaan regresi sebagai berikut:

$$\Delta q = 49.30 \cdot \Delta h + 0.35 \quad (7)$$

Demikian pula, semakin kasar ketelitian alat pengukur entalpi akan meningkatkan persentase kontribusinya terhadap kesalahan pengukuran laju aliran udara. Hubungannya dapat diekspresikan dalam bentuk persamaan regresi polinomial orde dua sebagai berikut:

$$\left| \frac{\partial q}{\partial h} \right| \cdot \frac{\Delta h}{\Delta q} = -4108.60 \cdot \Delta h^2 + 94.68 \cdot \Delta h + 0.044 \quad (8)$$

Rata-rata kontribusi kesalahan variabel lainnya, yaitu irradiasi, suhu di dalam dan di luar rumah kaca konstan sepanjang perubahan ketelitian pengukuran entalpi. Namun demikian, perubahan persentase kontribusi entalpi lebih banyak dikompensasi oleh perubahan kontribusi suhu di dalam dan di luar rumah tanaman. Perubahan atau pun persentase kontribusi kedua suhu ini sama besarnya. Sedangkan, kontribusi irradiasi mendekati 0%. Kontribusi kesalahan pengukuran entalpi sekitar 50% atau menyamal perjumlahan kontribusi kesalahan kedua suhu tersebut bila ketelitian alat ukur entalpi sebesar 0.007. Oleh karena itu, pembacaan entalpi dari *psychrometric chart* dengan nilai ketelitian lebih kecil dari nilai tersebut akan memberikan perkiraan laju aliran udara dengan kesalahan yang lebih kecil.

KESIMPULAN

Laju aliran udara dalam rumah taman dapat dihitung dengan bantuan *psychrometric chart* untuk memperoleh perkiraan nilai entalpi. Ketidakteelitian pembacaan entalpi ini berkorelasi positif dengan kesalahan perhitungan laju aliran udara. Persentase kontribusi kesalahan entalpi terhadap kesalahan perhitungan laju aliran udara mengikuti persamaan polinomial orde dua. Persentase kontribusi kesalahan pengukuran suhu di dalam dan di luar rumah tanaman selalu sama sedangkan irradiasi mendekati 0%. Perubahan persentase kontribusi kesalahan entalpi selalu dikompensasi oleh persentase kedua suhu tersebut. Pembacaan entalpi dari *psychrometric chart* dengan nilai ketelitian lebih kecil dari 0.007 J/kg akan memberikan perkiraan laju aliran udara dengan kontribusi kesalahan yang setara dengan pengukuran suhu.

PUSTAKA

- Al-Amri, A.M.S. 2000. Comparative use of greenhouse cover materials and their affectiveness in evaporative cooling systems under conditions in eastern province of Saudi Arabia. *AMA* 31(2):61-66.
- Arbel, A., O. Yekutieli and M. Barak. 1999. Performance of fogging system for cooling greenhouses. *J.Agric. Engng. Res.* 72:129-136.
- Arif, Ch., B.I.Setiawan, R.P.A.Setiawan. 2005. Analisis Kesalahan dalam Pengukuran Evapotranspirasi. *Jurnal Keteknikan Pertanian*. Vol.19, No.3, Desember 2005. ISSN 0216-3365. Hal:221~226.
- Askari, M., S.K.Saptomo, B.I.Setiawan. 2006. Error Analysis on the Estimation of Cumulative Infiltration in Soil using Green and Ampt Model. *Jurnal Keteknikan Pertanian*. Vol.20, No.2,

- Agustus 2006. ISSN 0216-3365. Hal:189-195.
- Fuchs, M. 1993. Transpiration and foliage temperature in a greenhouse. ISHS International Workshop on Cooling System for Greenhouses. Tel-Aviv, Israel.
- Giacomelli, G.A. 1993. Evaporative cooling for temperature control and uniformity. ISHS International Workshop on Cooling Systems for Greenhouses, Israel.
- Hellickson and Walker, 1983. Improved methods of greenhouse evaporative cooling. *Acta Horticulturae* 174: 49-55.
- Henry, Z.A., G.C. Zoerb, and G.S. Birth. 1991. Instrumentation and Measurement for Environmental Sciences. Third edition. ASAE. Michigan. Pages: 1-01~1-05.
- Kittas, C., T. Bartzanas and A. Jaffrin. 2001. Greenhouse evaporative cooling: measurement and data analysis. *Transactions of the ASAE*. Vol. 44(3):683-689.
- Ozturk, H.H., 2003. Evaporative cooling efficiency of a fogging system for greenhouse. *Turk Journal Agricultural* 27:49-57.
- Ropiudin, B.I. Setiawan, R.P.A. Setiawan. 2006. Error Analysis on Determination of Specific Heat of Agricultural Products using Mixture Method. *Jurnal Keteknikan Pertanian*. Vol.20, No.1, April 2006. ISSN 0216-3365. Hal:87-92.
- Seginer, I. 1994. Transpirational cooling of a greenhouse crop with partial ground cover. *Agricultural and Forest Meteorology* 71:265-281.
- Setiawan, B.I., R.P.A. Setiawan. 2005. Metodologi Penelitian Ilmu Keteknikan Pertanian. Volume 1. Program Studi Ilmu Keteknikan Pertanian, Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.
- Setiawan, B.I., R.P.A. Setiawan. 2006. Metodologi Penelitian Ilmu Keteknikan Pertanian. Volume 2. Program Studi Ilmu Keteknikan Pertanian. Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.
- Shen, Y. and S.L. Yu. 2002. Cooling methods for greenhouse in tropical region. *In* D. S. Fon, S. Chen, and T. T. Lin (Eds). International Symposium on Design and Environmental Control of Tropical and Subtropical Greenhouse. 30 June 2002. *Acta Horticulturae* 578. Taichung, Taiwan.
- Shih, J. C. 2002. Automatic multifunction spraying system for microclimate regulation. *In* D. S. Fon, S. Chen, and T. T. Lin (Eds). International Symposium on Design and Environmental Control of Tropical and Subtropical Greenhouse. 30 June 2002. *Acta Horticulturae* 578. Taichung, Taiwan.