

VENTILASI ALAMIAH PADA RUMAH KACA STANDARD PEAK TIPE CURAM TERMODIFIKASI

Natural Ventilation in the Modified Steep Type Standard Peak Greenhouse

Herry Suhardiyanto¹, Yudi Chadirin², Sumini³, Titin Nuryawati⁴

ABSTRACT

During the daytime in the tropical region, air temperature inside the greenhouse rises some degrees above the temperature level of outside air. Many greenhouses are build very tight. It formed hot air pocket in upper part of the greenhouse. A modification should be done to allow maximum air exchange rate through natural ventilation. This paper deals with the evaluation of natural ventilation role in reducing air temperature in the modified greenhouse as compared to that in the existing greenhouse. Results showed that greenhouse modification by increasing the area of side wall openings added 11.82 % air flow rate and reduced the temperature of the inside air about 1 °C to 3 °C. The calculated air exchange in both greenhouses agreed well with the measured values.

Keywords: *greenhouse in the tropics, neutral pressure level, air exchange rate.*

Diterima: 29 Juni 2007; Disetujui: 19 Agustus 2007

LATAR BELAKANG

Dalam merancang rumah kaca untuk daerah tropika, para perancang sering kali kurang memperhatikan kondisi iklim tropika yang berbeda dengan subtropika. Beberapa rumah kaca yang dibangun di daerah tropika ternyata mirip dengan rumah kaca di daerah subtropika yaitu cenderung kedap dan kurang memanfaatkan ventilasi alamiah. Hal ini menyebabkan pertukaran udara antara rumah kaca dengan udara luar terjadi

dalam laju yang sangat kecil. Selanjutnya, pada siang hari ketika cuaca cerah, suhu udara di dalam rumah kaca terlalu tinggi bagi pertumbuhan tanaman. Perancangan rumah kaca untuk daerah tropika perlu dilakukan dengan memperbesar laju ventilasi alamiah semaksimal mungkin agar suhu udara di dalam rumah kaca tidak terlalu tinggi. Harmanto *et al.* (2006) telah meneliti rancangan rumah kaca untuk daerah tropika basah dengan mengevaluasi penggunaan *screen*, yang dipasang untuk

¹ Departemen Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga Bogor 16680, herrysuhardiyanto@ipb.ac.id

² Departemen Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga Bogor 16680, yudi@ipb.ac.id

³ Alumnus Departemen Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor, mieenie@yahoo.com

⁴ Alumnus Departemen Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor, ti2n_nuryawati@yahoo.com

mencegah masuknya serangga, terhadap suhu dan kelembaban udara di dalam rumah kaca.

Laju ventilasi alamiah dapat diperbesar dengan memperluas bukaan ventilasi. Ventilasi alamiah tidak memerlukan biaya operasional. Bagi rumah kaca yang terlanjur dibangun dengan rancangan yang kurang memanfaatkan ventilasi alamiah, biaya yang diperlukan hanya untuk memodifikasi rumah kaca tersebut. Selain menurunkan suhu udara di dalam rumah kaca, ventilasi alamiah menghilangkan udara lembab dan mengembalikan konsentrasi karbondioksida pada tingkat konsentrasi di udara luar pada siang hari (Takakura, 1991).

Ventilasi alamiah terjadi karena efek angin dan efek termal. Efek angin terdiri dari efek *steady* dan efek *turbulen*. Efek *steady* terjadi pada saat angin bertiup di atas dan di sekeliling bangunan sehingga membangkitkan perbedaan tekanan pada lokasi yang berbeda dan menghasilkan distribusi tekanan pada bangunan. Efek *turbulen* terjadi karena kecepatan angin tidak bersifat statis melainkan bervariasi secara kontinyu dan hal ini menghasilkan fluktuasi tekanan. Apabila tekanan rata-rata di luar dua lubang ventilasi yang berbeda besarnya sama, maka tekanan sesaat bisa saja berbeda (Bot, 1983).

Efek termal timbul dari perbedaan temperatur di dalam dan di luar rumah kaca. Perbedaan kerapatan udara mengakibatkan perbedaan tekanan udara di dalam dan di luar rumah kaca, sehingga terjadi aliran udara keluar atau masuk rumah kaca melalui bukaan. Faktor termal tersebut mengakibatkan terbentuknya suatu bidang horisontal pada bukaan, sehingga tidak terjadi aliran udara karena tekanan udara di dalam dan di luar rumah kaca tersebut sama. Bidang ini disebut bidang tekanan netral. Pada bagian bawah bidang tekanan netral, tekanan udara luar lebih tinggi daripada tekanan udara di dalam rumah kaca, sehingga

terjadi aliran udara masuk ke dalamnya. Pada bagian di atas bidang tekanan netral, tekanan udara di dalam lebih tinggi daripada tekanan udara di luar rumah kaca, sehingga terjadi aliran udara keluar (Brockett dan Albright, 1987).

Di Kebun Percobaan Cikabayan, Kampus IPB Darmaga, terdapat rumah kaca *standard peak* tipe curam, yang pada siang hari ketika cuaca cerah, mengalami kenaikan suhu udara terlalu tinggi bagi pertumbuhan tanaman. Berdasarkan penelitian sebelumnya, luas bukaan ventilasi pada rumah kaca tersebut kurang memadai, hal ini mengakibatkan suhu udara di dalam rumah kaca sangat tinggi. Suhu udara di dalam rumah kaca tersebut pada radiasi matahari tinggi yaitu sekitar 500 W/m^2 dapat mencapai 43°C (Widyarti *et al.*, 2004). Pada rumah kaca dengan atap yang lebih curam, ketika tengah hari, radiasi matahari yang masuk ke dalamnya lebih sedikit dibandingkan dengan rumah kaca dengan atap yang lebih landai. Tetapi, untuk ketinggian bubungan yang sama, atap yang lebih curam menyebabkan volume udara panas yang terjebak di bagian atas rumah kaca lebih besar dan ketinggian dinding lebih rendah, yang mengakibatkan pengurangan luas bukaan ventilasi dinding. Oleh karena itu, rumah kaca tersebut perlu dimodifikasi. Suatu analisis modifikasi bagi rumah kaca *standard peak* tipe curam tersebut telah dilakukan (Suhardiyanto *et al.*, 2006). Selanjutnya, rumah kaca tersebut telah dimodifikasi sesuai dengan tipe modifikasi terpilih, yaitu modifikasi dengan laju ventilasi alamiah terbesar tetapi dengan biaya terkecil.

Modifikasi yang dilakukan adalah dengan mengurangi kemiringan atap, menambah tinggi bukaan ventilasi dinding, dan menambah tinggi bukaan ventilasi atap. Efektivitas modifikasi rumah kaca tersebut dapat diketahui melalui perbandingan laju ventilasi alamiah dan

Tabel 1. Ukuran Rumah Kaca

Ukuran Rumah Kaca	Simbol dan Satuan	Belum Dimodifikasi	Sudah Dimodifikasi
Tinggi rumah kaca dari lantai ke bubungan	$T (m)$	7,35	7,35
Tinggi ventilasi dinding dari lantai ke sumbu tengah ventilasi dinding	$tw (m)$	1,40	2,04
Tinggi ventilasi atap dari lantai ke sumbu tengah ventilasi dinding	$tr (m)$	4,83	5,72
Tinggi ventilasi atap dari sumbu tengah ventilasi dinding	$dh (m)$	3,67	4,24
Tinggi ventilasi dinding	$lw, d1 (m)$	2,4	3,68
Tinggi ventilasi atap	$lr (m)$	0,47	1,13
Volume rumah kaca	$Vol (m^3)$	690,990	838,996
Tinggi bidang tekanan netral	$h (m)$	3,038	4,138
Panjang dinding rumah kaca	$l (m)$	20	20
Lebar ventilasi atap	$d2 (m)$	3,5	3,5
Tinggi dinding batako	$t (m)$	0,2	0,2
Panjang atap rumah kaca	$la (m)$	12	20
Lebar rumah kaca	$w (m)$	7,5	7,5
Sudut kemiringan atap	$\alpha (^\circ)$	45	30

suhu udara di dalam rumah kaca. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja ventilasi alamiah pada rumah kaca yang dimodifikasi tersebut dan membandingkannya dengan rumah kaca di sebelahnya yang belum dimodifikasi.

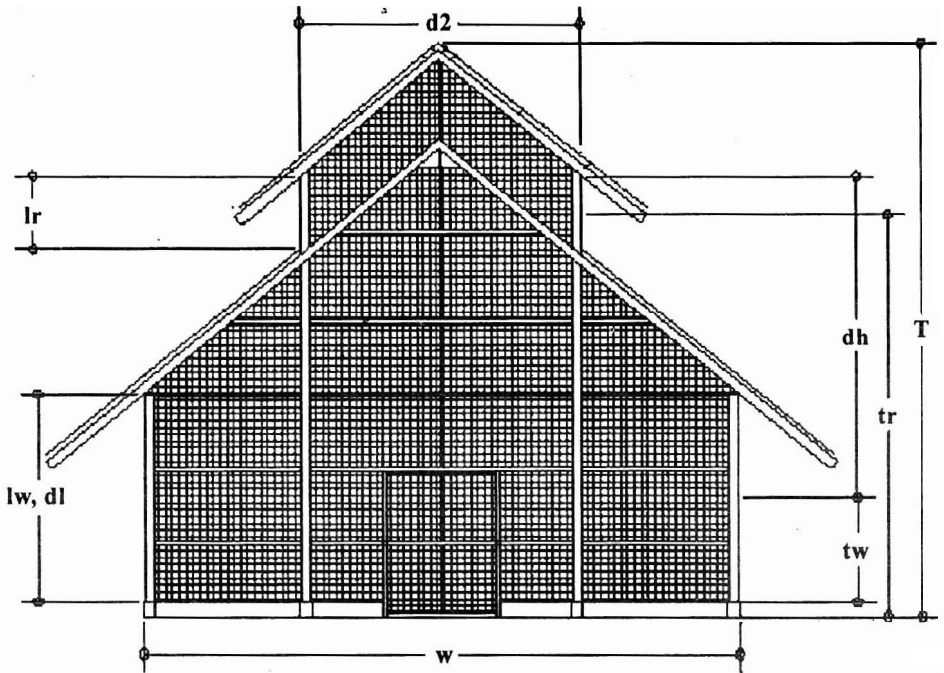
METODE

Rumah Kaca dan Peralatan Percobaan

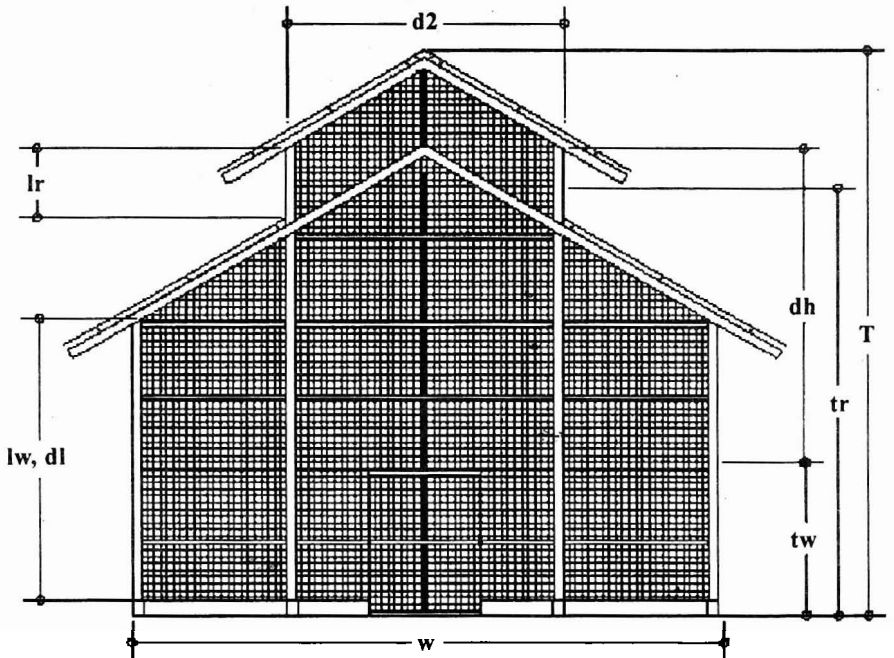
Rumah kaca yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari dua buah rumah kaca *single-span* tipe *standard peak* (Gambar 1 dan 2). Dimensi kedua rumah kaca dapat dilihat pada Tabel 1. Kedua rumah kaca tersebut terletak di *University Farm*, Institut Pertanian Bogor di Cikabayan, Kampus IPB Darmaga, Bogor. Lokasi penelitian terletak pada 6,33 LS dan 106,42 BT. Rumah kaca tersebut berukuran panjang 20 m, lebar 7,5 m dan tinggi bubungan 7,35 m. Konstruksi rumah kaca terdiri dari tiang

utama yang terbuat dari baja WF (*Wide Flange*), atap dari kaca setebal 8 mm, dinding dari *screen* dengan ukuran lubang 1 mm², dan lantai terbuat dari *paving block*. Rumah kaca dibangun dengan orientasi Utara-Selatan. Kedua rumah kaca ini terletak bersebelahan, sehingga memungkinkan dilakukannya perbandingan hasil pengukuran suhu udara di dalamnya dengan kondisi lingkungan sekitarnya yang sama.

Portable weather station digunakan untuk merekam beberapa parameter lingkungan di sekitar rumah kaca. Sensor dalam *weather station* tersebut meliputi *anemometer* untuk mengukur kecepatan dan arah angin, *psychrometer* untuk mengukur suhu dan kelembaban udara, *pyranometer* untuk mengukur radiasi matahari, serta *typing bucket precip gauge* untuk mengukur curah hujan. Sensor-sensor tersebut dihubungkan dengan *translator* sehingga nilai-nilai hasil pengukuran dapat ditampilkan melalui layar *display* dan selanjutnya disimpan



Rumah kaca yang belum dimodifikasi



Rumah kaca yang sudah dimodifikasi

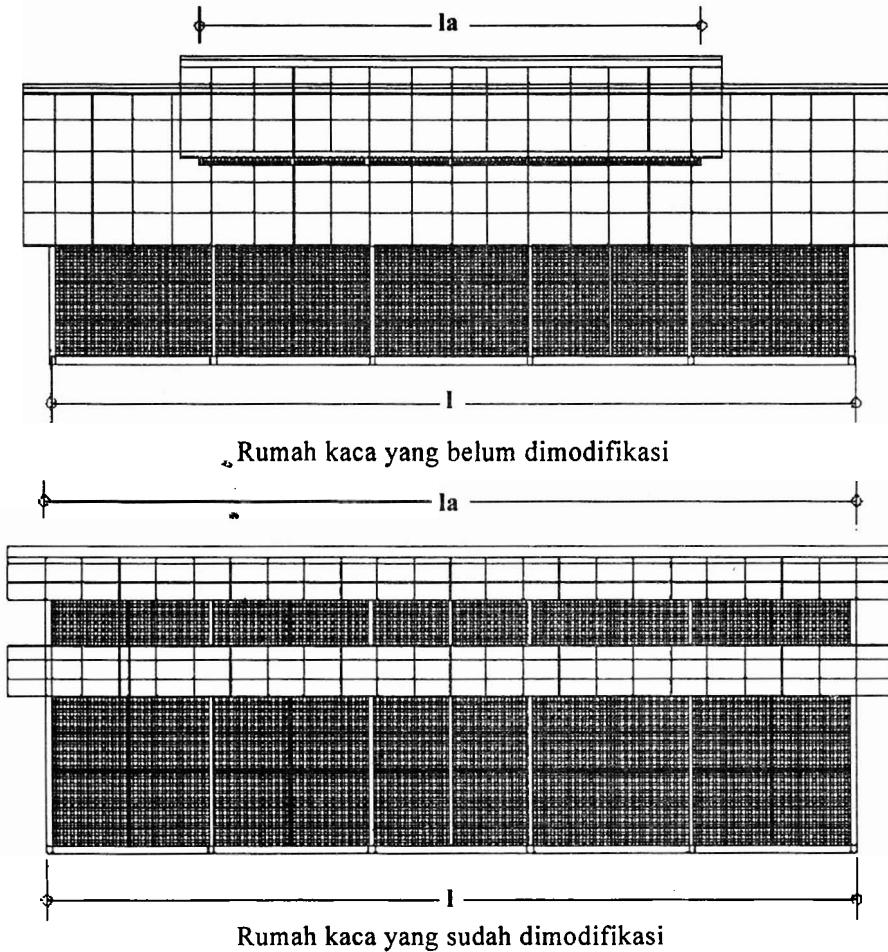
Gambar 1. Skema dimensi rumah kaca (tampak depan)

dalam *memory* komputer. Untuk mengukur suhu dan kelembaban udara di dalam rumah kaca digunakan termometer bola basah dan bola kering. Suhu bola basah dan bola kering hasil pengukuran digunakan untuk mengetahui kelembaban udara dan kerapatan udara di dalam rumah kaca dengan memplotkan nilai hasil pengukuran pada *psychrometric chart*. Untuk menentukan kecepatan aliran udara yang masuk ke dalam rumah kaca melalui bukaan ventilasi digunakan bola-bola *styrofoam* yang digantungkan dengan benang.

yang diukur adalah kecepatan angin, arah angin, suhu udara, tekanan udara, curah hujan, dan radiasi matahari, sedangkan parameter di dalam rumah kaca terdiri dari suhu bahan penutup, suhu udara dalam rumah kaca, dan suhu permukaan lantai. Interval pengambilan data pengukuran dengan *weather station* adalah 10 menit. Pengukuran dilakukan sejak pukul 6:00 sampai dengan pukul 18:00 WIB. Pengukuran kecepatan aliran udara pada bukaan ventilasi dilakukan pada sepuluh lokasi di dalam rumah kaca dengan mengukur simpangan bola-bola *styrofoam*. Untuk menghitung kecepatan aliran udara dari pengukuran ini, digunakan persamaan turunan dari

Pengukuran dan Pengolahan Data

Parameter lingkungan rumah kaca



Gambar 2. Skema dimensi rumah kaca (tampak samping)

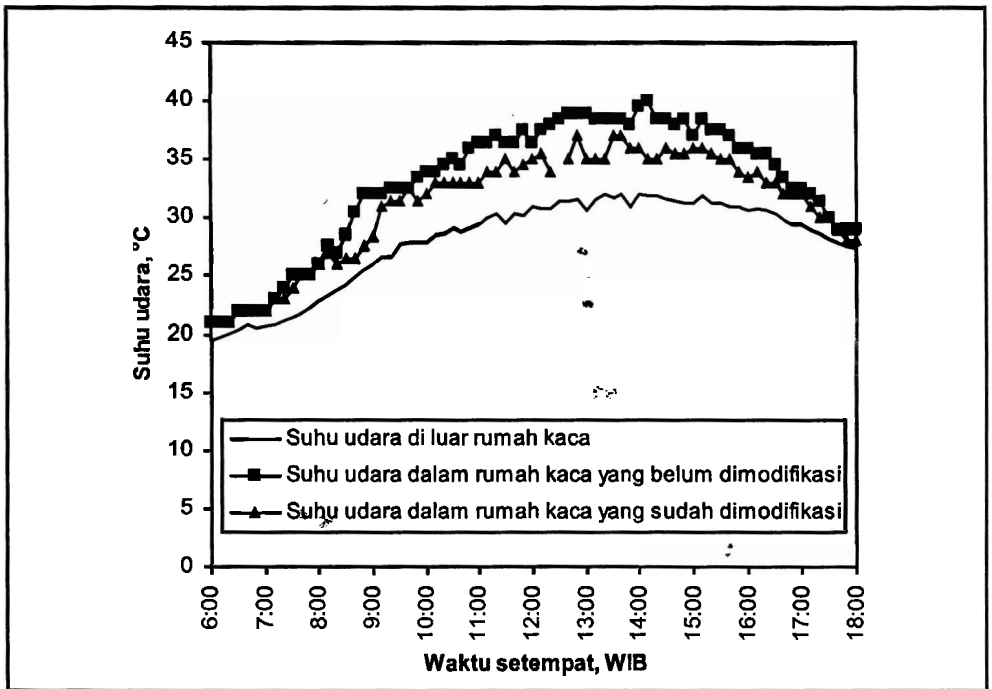
persamaan Bernoulli. Data hasil pengukuran diolah menggunakan program komputer dengan bahasa *Visual Basic 6.0* untuk menghitung laju ventilasi alamiah dan untuk mengetahui nilai bidang tekanan netral pada rumah kaca. Pengambilan data di lapangan dilakukan pada bulan Juni 2006.

Untuk menentukan suatu bagian dari bukaan pada rumah kaca berfungsi sebagai *inlet* atau *outlet*, maka perlu diketahui lebih dahulu ketinggian bidang tekanan netral rumah kaca tersebut pada keadaan lingkungan tertentu. Ketinggian bidang tekanan netral dihitung menggunakan persamaan Bruce (1978), sebagaimana diuraikan dalam Suhardiyanto *et al.* (2006). Laju ventilasi alamiah ditentukan oleh perbedaan tekanan udara di dalam dan di luar rumah kaca. Perbedaan tekanan udara tersebut merupakan nilai keseluruhan dari tekanan statik pada lantai rumah kaca dan tekanan

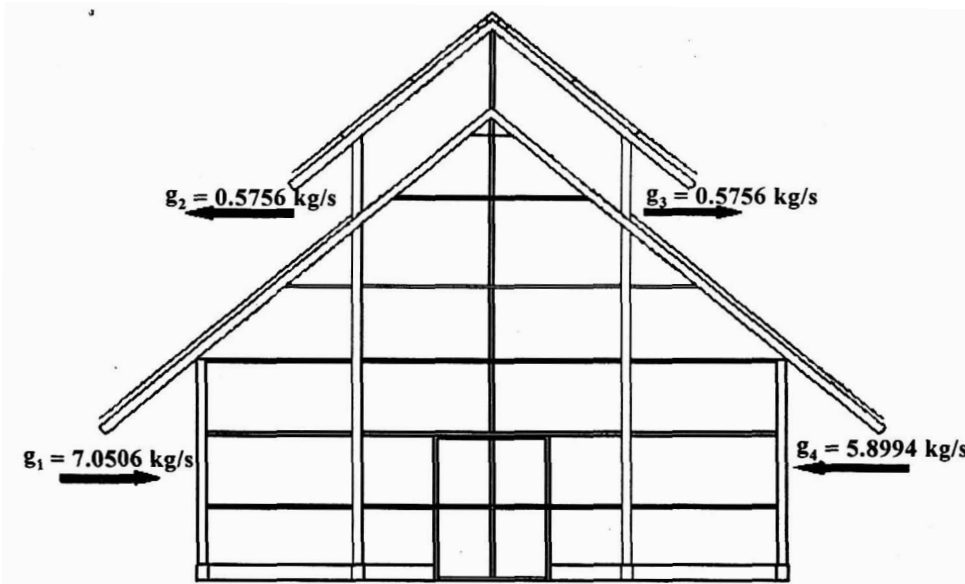
akibat faktor angin dan termal. Untuk menentukan tekanan yang disebabkan oleh pengaruh angin digunakan nilai koefisien tekanan menurut Kozai dan Sase (1978).

HASIL DAN PEMBAHASAN

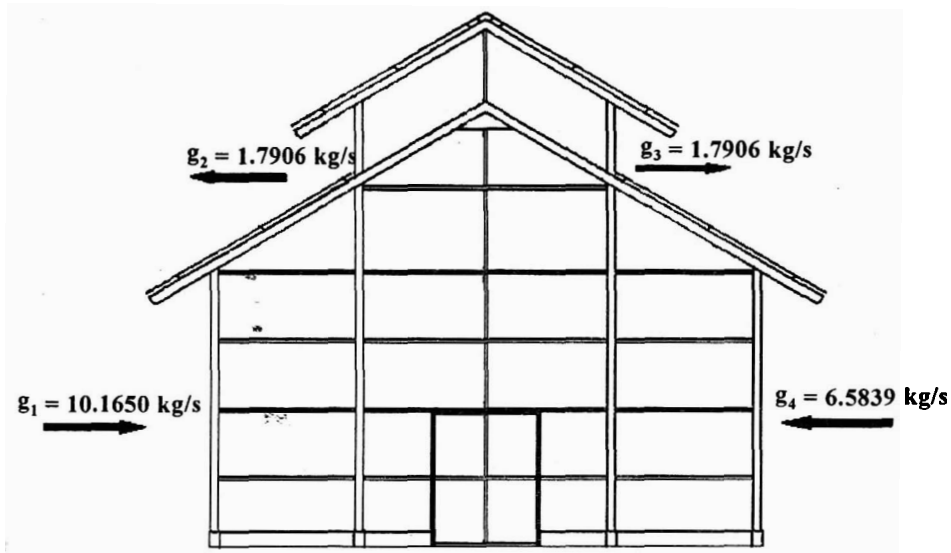
Pada Gambar 3 disajikan pola perubahan suhu udara di dalam rumah kaca yang sudah dimodifikasi dibandingkan dengan suhu udara di dalam rumah kaca yang belum dimodifikasi. Dalam gambar tersebut disajikan pula suhu udara di luar rumah kaca. Gambar tersebut merupakan pola tipikal perubahan suhu siang hari yang diperoleh dari beberapa hari pengukuran. Perbedaan suhu rata-rata di luar dan di dalam rumah kaca yang belum dimodifikasi adalah sekitar 4.29 °C, sedangkan perbedaan suhu pada rumah



Gambar 3. Pola perubahan suhu udara di luar dan di dalam rumah kaca yang belum dan sudah dimodifikasi pada cuaca cerah (tanggal 2 Juli 2006)



Rumah kaca yang belum dimodifikasi



Rumah kaca yang sudah dimodifikasi

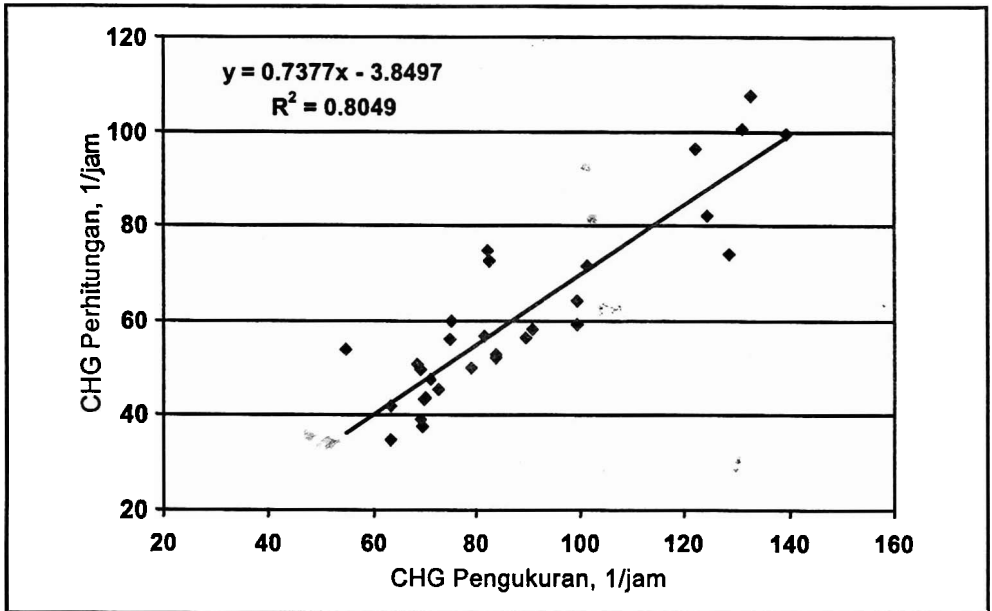
Gambar 4. Arah dan laju aliran udara (kg/s) pada tanggal 2 Juli 2006, pukul 08:20 WIB dengan kecepatan angin 0,0 m/s cuaca cerah (radiasi matahari $152,93\text{W/m}^2$)

kaca yang sudah dimodifikasi adalah sekitar 2.05 °C. Hal ini menunjukkan bahwa modifikasi rumah kaca yang dilakukan dapat menurunkan suhu udara di dalam rumah kaca. Modifikasi rumah kaca ini telah berhasil menurunkan suhu udara di dalam rumah kaca antara 1 sampai dengan 3 °C.

Dalam penelitian ini, tinggi bidang tekanan netral dan laju ventilasi alamiah dihitung menggunakan cara seperti pada Suhardiyanto *et al.* (2006). Dari hasil perhitungan, didapatkan tinggi bidang tekanan netral pada rumah kaca yang belum dimodifikasi adalah 3,038 m dari lantai, sedangkan pada rumah kaca yang sudah dimodifikasi adalah 4,138 m dari lantai. Kenaikan ini terjadi karena modifikasi rumah kaca yang dilakukan telah menambah tinggi dan luas bukaan samping. Daerah bukaan di bawah bidang tekanan netral berfungsi sebagai *inlet*, karena tekanan udara di luar rumah kaca lebih tinggi daripada tekanan udara di dalam rumah kaca maka terjadi aliran udara dari luar masuk ke dalam rumah

kaca. Daerah di atas bidang tekanan netral berfungsi sebagai *outlet*, karena tekanan udara di dalam rumah kaca lebih tinggi daripada tekanan udara di luar rumah kaca, maka udara akan mengalir ke luar rumah kaca. Kondisi tersebut terjadi ketika faktor termal lebih dominan daripada faktor angin. Sebaliknya bila faktor angin lebih dominan, maka ventilasi atap juga dapat berfungsi sebagai *inlet*. Tinggi bidang tekanan netral pada rumah kaca berubah, sesuai dengan tekanan angin yang terjadi. Apabila perbedaan tekanan bernilai positif maka bidang tekanan netral, akan berada lebih tinggi dari pada bidang tekanan semula. Sebaliknya, apabila perbedaan tekanan bernilai negatif, maka bidang tekanan netral akan berada di bawah bidang tekanan netral semula.

Laju ventilasi alamiah dinyatakan dengan laju aliran udara yaitu laju aliran udara volumetrik yang masuk atau keluar dari rumah kaca dikali dengan kerapatannya. Dari hasil perhitungan laju aliran udara yang terjadi ketika angin



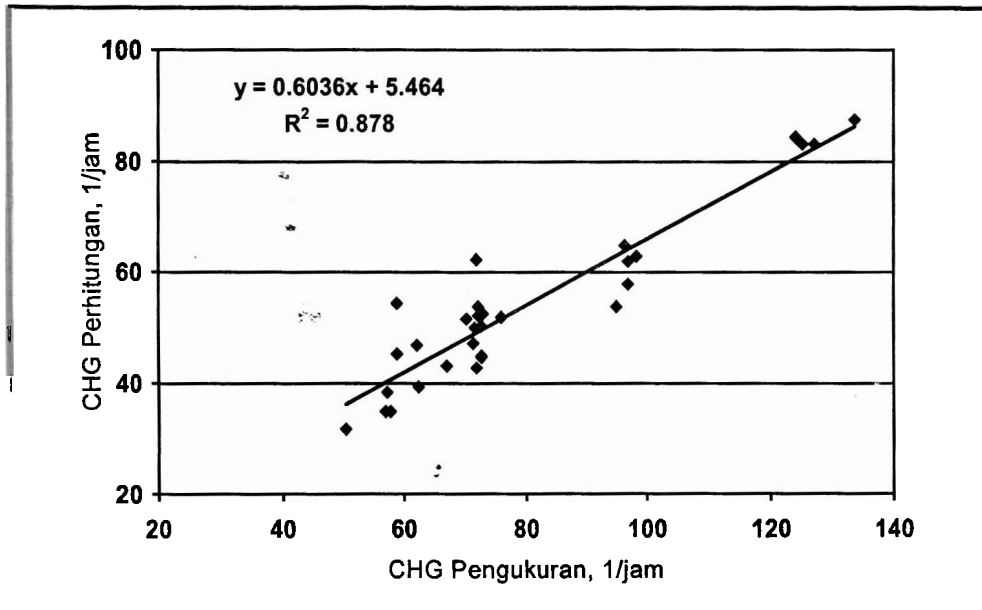
Gambar 5. Perbandingan laju pertukaran udara hasil pengukuran dan perhitungan pada rumah kaca yang belum dimodifikasi

tidak bertiup pada masing-masing rumah kaca, dapat diketahui bahwa bukaan 1 dan 4 (g_1 dan g_4) pada kedua rumah kaca berfungsi sebagai *inlet* dan bukaan 2 dan 3 (g_2 dan g_3) berfungsi sebagai *outlet*. Hal ini menunjukkan bahwa ventilasi alamiah yang terjadi pada kedua rumah kaca lebih banyak dipengaruhi oleh faktor termal. Namun, laju aliran udara pada rumah kaca yang sudah dimodifikasi jelas lebih besar dibandingkan dengan laju ventilasi alamiah yang belum dimodifikasi. Pada Gambar 4 disajikan skema laju aliran udara hasil perhitungan pada rumah kaca yang belum dan sudah dimodifikasi, ketika tidak ada angin.

Ketika angin bertiup dengan kecepatan antara 1 sampai dengan 2 m/s, laju aliran udara pada bukaan 1 (g_1) bernilai positif atau menunjukkan arah aliran udara memasuki rumah kaca, sedangkan laju aliran udara pada bukaan 2, 3 dan 4 (g_2 , g_3 , dan g_4) bernilai negatif atau menunjukkan arah aliran udara keluar dari rumah kaca. Selanjutnya, ketika kecepatan angin lebih dari 2 m/s,

ternyata laju pertukaran udara pada kedua rumah kaca tersebut meningkat dengan pola yang serupa.

Laju pertukaran udara pada cuaca cerah cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan Laju pertukaran udara pada cuaca mendung. Hal ini karena pada saat cuaca cerah, selisih suhu udara di dalam rumah kaca dengan suhu udara di luar rumah kaca lebih besar dibandingkan dengan selisih ketika cuaca mendung. Selisih suhu udara menyebabkan selisih tekanan udara. Selisih yang lebih besar antara tekanan udara di dalam rumah kaca dengan tekanan udara di luar rumah kaca pada saat cuaca cerah mengakibatkan laju aliran udara dari luar rumah kaca ke dalam rumah kaca lebih tinggi sehingga laju pertukaran udara juga lebih tinggi, dibandingkan dengan ketika cuaca mendung. Gambar 5 dan 6 menunjukkan grafik perbandingan laju pertukaran udara hasil perhitungan dengan hasil pengukuran pada masing-masing rumah kaca.



Gambar 6. Perbandingan laju pertukaran udara hasil pengukuran dan perhitungan pada rumah kaca yang sudah dimodifikasi

Dari Gambar 5 dan 6 dapat diketahui bahwa persamaan regresi linear yang dihasilkan untuk perbandingan laju pertukaran udara hasil perhitungan dan pengukuran pada rumah kaca yang belum dimodifikasi adalah $Y = 0,6036 X + 5,464$ dengan $R^2 = 0,878$, sedangkan pada rumah kaca yang sudah dimodifikasi adalah $Y = 0,7377 X - 3,8497$ dengan $R^2 = 0,8049$. Selanjutnya, nilai laju pertukaran massa udara pada rumah kaca yang sudah dimodifikasi ternyata lebih tinggi dibandingkan dengan pada rumah kaca yang belum dimodifikasi. Hal ini menunjukkan bahwa ventilasi alamiah pada rumah kaca yang sudah dimodifikasi lebih baik dibandingkan dengan rumah kaca yang belum dimodifikasi. Peningkatan laju pertukaran udara yang terjadi adalah sebesar 11,82 %.

KESIMPULAN

1. Modifikasi rumah kaca dengan menambah tinggi serta panjang ventilasi atap, berarti menambah luas bukaan, menyebabkan penambahan laju ventilasi alamiah pada rumah kaca yang telah dimodifikasi.
2. Tinggi bidang tekanan netral pada rumah kaca yang belum dimodifikasi adalah 3,038 m, sedangkan tinggi bidang tekanan netral pada rumah kaca yang sudah dimodifikasi adalah 4,138 m dari lantai rumah kaca.
3. Faktor termal lebih banyak mempengaruhi terjadinya laju ventilasi alamiah baik pada rumah kaca yang telah dimodifikasi maupun pada rumah kaca yang belum dimodifikasi.
4. Modifikasi rumah kaca yang telah dilakukan dapat menaikkan laju aliran massa udara sebesar 11,82%, sehingga dapat menurunkan suhu udara dalam rumah kaca 1 °C sampai dengan 3 °C.

DAFTAR PUSTAKA

- Bot, G.P.A. 1983. Greenhouse Climate: from Physical Processes to a Dynamic Model. Thesis. Agricultural University of Wagenigen, Netherland.
- Brockett, B.L. and Albright, L.D. 1987. Natural ventilation in single air span building. *Journal of Agricultural Engineering Research* (37): 141-154.
- Bruce, J.M. 1978. Natural convection through openings and its application in cattle building ventilation. *Journal of Agric. Eng. Research* (23): 151-167.
- Harmanto, H.J. Tantau and V.M. Salokhe. 2006. Effect of screen sizes on performance of an adapted greenhouse for tomato production in the humid tropics. *Jurnal Enjiniring Pertanian*. 4(1): 33 – 40.
- Kozai, T. and Sase, S. 1978. A simulation of natural ventilation for a multi span greenhouse. *J.Acta Horticulturae* (87) : 29-49.
- Widyarti, M., H. Suhardiyanto dan I.S. Muliawati. 2004. Analisis laju ventilasi alam pada *single-span greenhouse*, Cikabayan, Kampus IPB Darmaga. *Jurnal Keteknikan Pertanian* 18(1): 26-37.
- Suhardiyanto, H., M. Widyarti., F. Chrisfian, I.S. Muliawati. 2006. Analisis ventilasi alamiah untuk modifikasi rumah kaca *standard peak* tipe curam. *Jurnal Keteknikan Pertanian* 20 (2): 127-138.
- Takakura, T. 1991. Environmental Control System for Greenhouse. *Proceedings of Automatic Agriculture for 21st Century*. Chicago, 16-17 December 1991.