

ANALISIS LAJU VENTILASI ALAM PADA SINGLE SPAN GREENHOUSE, CIKABAYAN, KAMPUS IPB DARMAGA.

Meiske Widyarti¹, Herry Suhardi² dan Iin Sundani Muliawati²

Abstract

Greenhouse is commonly used to protect plants from unexpected weather condition. In this research, natural ventilation's rate in a single span greenhouse owned by Faculty of Agriculture at Cikabayan IPB has been measured. Theoretical equations is used for this research's method to find the natural ventilation's rate than the findings are verified. This research also evaluated the block plan design. Temperature, humidity, wind velocity and direction, solar radiation, air pressure's data are measured using a weather station at two greenhouses building. The data were processed by a computer program using visual basic language. This research found that the neutral plane is located at 3, 5 meter up from greenhouse's floor; it means that these greenhouse's side walls are only functioned as an air inlet. It is found that in a wind speed >2 m/s, either in low radiation (<500 W/m²) and high radiation (> 500 W/m²), the natural ventilation's rate is very fluctuated inside the two greenhouses. This shows that the ventilation system has not been appropriate yet. Between the calculated and the measured natural ventilation's rate show an error not more than 30%, it means that the develop equation can be used to predict the natural ventilation rate inside a single span greenhouse. The micro climate inside greenhouse I and II are equal. It means that greenhouse's lay out has already been appropriate.

PENDAHULUAN

Temperatur, kelembaban udara, kecepatan angin dan konsentrasi CO₂ adalah faktor lingkungan yang berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman agar menjadi optimal. Pada daerah beriklim tropis suhu udara didalam bangunan *greenhouse* cenderung meningkat kadang-kadang sampai melebihi interval suhu yang dapat ditolerir bagi pertumbuhan tanaman. Agar temperatur udara didalam *greenhouse* tidak terlalu tinggi atau mendekati suhu luar maka dibutuhkan ventilasi yang baik. Ventilasi adalah proses pertukaran udara di dalam *greenhouse* dengan udara luar untuk memindahkan panas akibat radiasi surya, mengisi karbon dioksida, dan membantu mengontrol kelembaban udara. Pengetahuan tentang ventilasi alami dan kondisi lingkungan dalam *greenhouse*

sangatlah penting dalam merancang *greenhouse* agar memadai untuk daerah beriklim tropika basah. Penataan bangunan *greenhouse* berpengaruh. Untuk membuat perancangan *greenhouse* sangat diperlukan pengetahuan tentang kondisi laju ventilasi alami dalam bangunan. Penelitian ini dibuat untuk menganalisis laju ventilasi dengan menggunakan model perhitungan dan pengkajiannya dilakukan pada dua bangunan *greenhouse* yang berbeda.

Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Melakukan pengukuran laju ventilasi alam pada *single-span greenhouse* yang terletak pada dua posisi yang berbeda.
2. Melakukan validasi model perhitungan dengan membandingkan besarnya laju ventilasi hasil pengukuran dengan hasil perhitungan.
3. Menentukan jarak optimal antara dua bangunan *greenhouse*.

¹Departemen Teknik Pertanian FATETA IPB

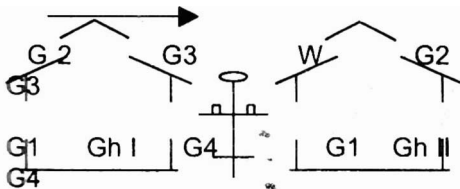
²Alumni Teknik Pertanian FATETA IPB

BAHAN DAN METODE

Penelitian ini dilaksanakan pada *single-span greenhouse* yang terletak di Cikabayan milik Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor, pada bulan Maret sampai April 2003.

Greenhouse yang digunakan bertipe *single-span* sebanyak dua buah. *Greenhouse* I terletak di bagian depan dari arah angin setempat, sedangkan *greenhouse* II terletak setelah *greenhouse* I (Gambar 1). Konstruksi *greenhouse* menggunakan rangka baja dengan atap bertingkat berpenutup kaca dengan ketebalan 8 mm. Luas lantai bangunan adalah 150 m². Dinding bangunan dan ventilasi atap menggunakan kassa kaku (*screen*) dengan ukuran lubang anyaman 1 mm². Tinggi dinding 2.6 m dan dinding bagian bawah terbuat dari batako setinggi 0.2 m dan bagian atasnya memakai kassa kaku setinggi 2.4 m. Bola-bola gabus diletakkan

Arah angin utama setempat



Gambar 1. Penempatan *weather station*.

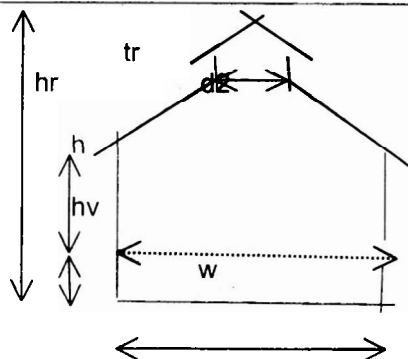
pada beberapa titik pada bukaan 1 (G1) dan bukaan 4 (G4) sedangkan pada bukaan 2 (G2) dan bukaan 3 (G3) hanya diletakkan pada 1 titik

saja (Gambar 1). Simpangan pada setiap titik dihitung dan kemudian di rata-ratakan. Parameter iklim yang diukur untuk perhitungan laju ventilasi adalah temperatur, kelembaban udara, kecepatan angin disekitar *greenhouse*. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan alat *weather station*. *Weather station* ini diletakkan di luar *greenhouse* (Gambar 1). Nilai hasil pengukuran terbaca pada display dan direkam pada komputer (PC). Untuk perekaman data pada PC, pengukuran disetiap sensor diset untuk setiap detik. Pengambilan data dilakukan selang lima belas menit. Temperatur udara di dalam *greenhouse* diukur menggunakan termometer air raksa. Termometer bola basah dan bola kering digunakan untuk mengetahui kelembaban udara, dan kerapatan udara di dalam *greenhouse* dengan cara mengplotkan data pada grafik psikropsikrometri. Temperatur, kelembaban dan kerapatan udara di dalam *greenhouse* diperoleh setiap limabelas menit dari pukul 8.00 sampai 16.00. Data tersebut digunakan untuk menghitung laju ventilasi alami pada *single span* *greenhouse*.

menggunakan sistem bola bola gabus. Besarnya kecepatan aliran udara dihitung dengan persamaan Bernoulli dan hasilnya dikonversi dengan pengukuran menggunakan anemometer.

Model perhitungan untuk kecepatan aliran udara melewati bukaan :

$$U = \sqrt{\frac{m \cdot g \cdot \frac{x}{L}}{\pi \cdot r^2 \cdot \rho}} \dots \dots \dots (2)$$



Gambar 2. Skema dimensi bangunan

dimana :

W = lebar greenhouse

T = tinggi dinding batako.

d2 = Lebar ventilasi atap horisontal dari sumbu tengah ventilasi dinding

d1= Lebar ventilasi dinding

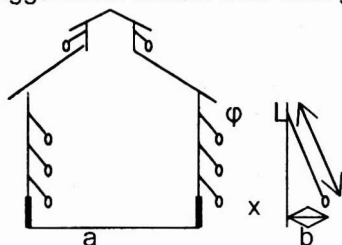
tr = lebar ventilasi atap vertikal

hv = tinggi ventilasi dinding dari lantai hingga sumbu tengah

h = Tinggi ventilasi dinding

Hr = tinggi bubungan atap dari Lantai.

Kecepatan aliran udara yang melintasi bukaan diukur menggunakan sistem bola-bola ga



Gambar 3 :: Pengukuran kecepatan aliran udara pada bukaan ventilasi (a). Penempatan bola-bola gabus (b). Parameter yang diukur.

Data hasil pengukuran diolah dengan menggunakan perhitungan dengan program komputer bahasa Visual-Basic untuk mendapatkan besarnya laju ventilasi atau pertukaran udara

dimana :

U = Kecepatan aliran udara pada bukaan (m/s)

m = Massa bola gabus (kg)

g = Percepatan akibat gaya gravitasi bumi (9,8 m/s)

r = Jari-jari bola gabus (m)

L = panjang tali (m)

x = simpangan tali (m)

p = Kerapatan udara luar (kg/m³)

(CHG) pada *greenhouse*. Setelah data-data yang keluar dari program selesai dan telah diketahui besarnya laju ventilasi dari tiap-tiap *greenhouse* dilaku-kan analisis dan perbandingan hasil laju ventilasi alam dari *greenhouse* I dan *greenhouse* II. Dalam perhitungan laju ventilasi akibat efek termal, perlu diketahui posisi bidang tekanan netral pada bangunan. Posisi bidang tekanan netral adalah suatu titik dimana tekanan udara karena faktor termal mempunyai nilai yang sama antara luar dan dalam bangunan. Lokasi bidang tekanan netral memberikan gambaran tentang posisi dari bukaan yang berfungsi sebagai inlet dan outlet (Bruce, 1978 di dalam Timmons et al. 1984). Menurut Bruce (1978), ketinggian bidang tekanan netral dihitung dengan persamaan :

$$\bar{h} = \sum_{j=1}^n \int_{A_j} \frac{|\bar{h} - h|^{3/2}}{\bar{h} - h} dA = 0 \quad \dots\dots(2)$$

dimana :

n = Jumlah bukaan ventilasi

A_j = Luas bukaan (m²)

$\bar{h}$ = Tinggi bidang tekanan netral dari lantai (m)

Aliran udara melintasi bukaan menurut Bot (1983) terjadi karena adanya perbedaan tekanan udara antara di dalam dan di luar *greenhouse*.

Besarnya perbedaan tekanan udara ΔP (kg/m^2) dinyatakan dalam persamaan :

$$\Delta P = P_s - P_t + P \dots\dots\dots (3)$$

P_s = tekanan statik pada lantai (kg/m^2)

P_w = tekanan akibat faktor angin (kg/m^2)

P_t = tekanan akibat faktor termal (kg/m^2)

Besarnya tekanan statik P_s (kg/m^2) pada ketinggian acuan lantai diperoleh dari persamaan :

$$P_s = \frac{h \cdot \rho_{out} \cdot (T_i - T_o)}{273 + T_i} \dots\dots\dots (4)$$

dimana :

h = ketinggian bidang tekanan netral (m)

ρ = kerapatan udara luar (kg/m^3)

T_i = temperatur udara dalam greenhouse ($^{\circ}\text{C}$)

T_o = temperatur udara di luar greenhouse ($^{\circ}\text{C}$)

Besarnya tekanan udara akibat faktor termal P_t (kg/m^2)

$$P_t = \frac{h \cdot \rho_{out} \cdot (T_i - T_o)}{273 + T_i} \dots\dots\dots (5)$$

dimana :

h = ketinggian bidang tekanan netral (m)

ρ = kerapatan udara luar (kg/m^3)

T_i = temperatur udara dalam greenhouse ($^{\circ}\text{C}$)

T_o = temperatur udara di luar greenhouse ($^{\circ}\text{C}$)

Menurut Bot (1983) besarnya tekanan udara akibat faktor angin P_w (kg/m^3) adalah :

$$P_w = \frac{C_p \cdot \rho_{out} \cdot V^2}{2g} \dots\dots\dots (6)$$

dimana :

C_p = koefisien tekanan

ρ_{out} = kerapatan udara luar (kg/m^3)

V = kecepatan angin pada ketinggian bubungan atap (m/s)

g = percepatan akibat gravitasi bumi (9.8 m/s^2)

Koefisien tekanan C_p menunjukkan sebaran tekanan di setiap bukaan ventilasi untuk arah angin yang tegak lurus dengan luas bukaan. Nilai C_p yang digunakan dalam perhitungan disajikan dalam Tabel dibawah ini.

Tabel 1. Nilai koefisien tekanan akibat faktor angin.

Bukaan Ventilasi pada	Koef. Tek. C_p
windward	0.6
sisi leeward	- 0.6
sisi windward pada windward	- 0.12
sisi leeward pada windward span	- 0.7
sisi windward pada intermediate	
sisi leeward pada intermediate	0.3
sisi windward pada leeward span	- 0.7
sisi leeward pada leeward span	0.3
	-0.6

Sumber : Greenhouse Structural Safety Standard di dalam Kozai and Sase (1978).

Laju aliran udara yang melewati bukaan G (Kg/s) dapat dihitung dengan persamaan :

Untuk $\Delta P < 0$

$$G = -Cd \cdot A \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \rho_{out} \cdot |\Delta P|} \dots\dots\dots (5)$$

Untuk $\Delta P > 0$

$$G = Cd \cdot A \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \rho_{in} \cdot |\Delta P|} \dots\dots\dots (6)$$

dimana :

C_d = Koefisien discharge

A = Luas bukaan (m^2)

g = Percepatan akibat gravitasi bumi (9.8 m/s^2)

ρ_{out} = Kerapatan udara luar greenhouse (kg/m^3)

ρ_{in} = Kerapatan udara dalam *greenhouse* (kg/m³)
 ΔP = Perbedaan tekanan (kg/m²).

Koefisien discharge Cd menyatakan nilai perbandingan antara luasan efektif yang merupakan bidang normal tegak lurus aliran dengan luasan lubang itu sendiri. Besarnya Cd yang digunakan dalam perhitungan ini adalah 0.44 untuk ventilasi dinding dan 0.29 untuk ventilasi atap (Ishihara di dalam Kozai and Sase, 1978).

Besarnya pertukaran udara di dalam *greenhouse* (CGH) dapat dihitung dengan persamaan :

$$CGH = \frac{3600.S}{\rho_{out}.Vol} \quad \dots\dots\dots (7)$$

dimana :

S = total laju aliran udara yang masuk *greenhouse* (kg/s)
 ρ_{out} = kerapatan udara luar *greenhouse* (kg/m³)
 Vol = volume *greenhouse* (m³)

Dalam pengukuran laju ventilasi alam menggunakan bola bola gabus diperoleh laju aliran udara U (m/s) sebagai hasil konversi dari pengukuran simpangan tali. Selanjutnya dilakukan perhitungan didapatkan posisi dari bidang tekanan netral yaitu 1.1 m di atas sumbu tengah ventilasi dinding atau 3.5 m dari lantai *greenhouse*. Untuk mengetahui besarnya laju ventilasi alami dan pengaruh faktor termal dan angin dilakukan perhitungan pada berbagai kecepatan angin dalam kondisi cuaca cerah maupun mendung. Pada penelitian ini cuaca

laju aliran udara volumetrik Q (m³/s) dengan persamaan :

$$Q = Cd \int_A U . dA \quad \dots\dots\dots (8)$$

dimana :

Cd = Koefisien discharge
 U = Kecepatan aliran udara yang melewati bukaan (m/s)
 A = Luas bukaan ventilasi (m²)

Laju aliran udara G (kg/s) dihitung dengan persamaan :

$$G_{ukur} = Q . \rho_{out} \quad \dots\dots\dots (9)$$

dimana :

Q = Laju aliran udara volumetrik (m³/s)
 ρ_{out} = Kerapatan udara luar *greenhouse* (kg/m³)

Selanjutnya dibandingkan besarnya laju aliran udara (G) hasil pengukuran dengan hasil perhitungan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bidang tekanan netral ($\bar{h}$) adalah suatu posisi dimana tekanan udara karena faktor termal mempunyai nilai yang sama antara diluar dan di dalam bangunan. Dari hasil perhitungan secara iterasi menggunakan program Q basic. Hasil perhitungan dengan program Visual Basic

cerah adalah apabila radiasi matahari lebih besar dari 500 Watt/m² dan mendung apabila radiasi matahari kurang dari 500 Watt/m². Pengukuran-pengukuran yang dilakukan untuk perhitungan laju ventilasi alami di ambil pada berbagai kecepatan angin yaitu antara 0 – 3,5 m/det.

Tabel 2. Hasil perhitungan laju ventilasi alam *greenhouse* I

No	V (m/s)	Radiasi Surya (W/m ²)	G1 (Kg/s)	G2 (Kg/s)	G3 (Kg/s)	G4 (Kg/s)	CHG (1/h)
1	0.0	324	10.682	-1.15	-1.150	8.382	53.73
2	0.0	529	11.813	-1.289	-1.289	9.235	58.28
3	0.9	313	9.687	-1.009	-1.100	7.579	47.77
4	0.9	797	11.387	-1.242	-1.247	8.897	55.70
5	1.0	298	10.272	-1.119	-1.120	8.034	49.89
6	1.0	1017	9.683	-1.042	-1.047	7.567	48.24
7	1.3	813	9.428	-1.020	-1.038	7.370	47.09
8	1.4	59	10.932	-1.190	-1.192	8.551	53.16
9	1.7	152	9.812	-1.041	-1.085	7.686	47.95
10	1.7	939	12.950	-1.388	-1.461	10.101	63.59
11	2.1	0	9.312	-0.957	-1.063	7.291	45.49
12	2.1	1035	16.666	-1.474	-2.091	13.101	83.51
13	2.5	141	17.718	-1.431	-2.283	14.004	86.97
14	2.5	1017	10.577	-1.070	-1.229	8.278	52.65
15	2.7	622	11.117	-1.405	-2.275	13.864	86.60
16	2.8	95	17.554	-1.143	-1.283	8.692	55.47
17	3.4	207	11.451	-1.175	-1.316	8.959	56.34
18	3.4	622	12.710	-1.391	-1.401	9.918	62.80

Tabel 3. Hasil perhitungan laju ventilasi alami pada *greenhouse* II

No	V (m/s)	Radiasi Surya (W/m ²)	G1 (Kg/s)	G2 (Kg/s)	G3 (Kg/s)	G4 (Kg/s)	CHG (1/h)
1	0.0	324	10.780	-1.169	-1.169	8.438	54.09
2	0.0	529	11.186	-1.227	-1.227	8.732	55.10
3	0.9	313	11.297	-1.197	-1.275	8.825	55.62
4	0.9	797	12.888	-1.421	-1.421	10.051	62.92
5	1.0	298	11.283	-1.236	-1.236	7.659	54.73
6	1.0	1017	11.474	-1.277	-1.277	13.015	57.04
7	1.3	813	11.111	-1.209	-1.224	13.596	55.44
8	1.4	59	9.104	-0.990	-0.993	8.398	43.84
9	1.7	152	10.198	-1.084	-1.126	7.881	49.17
10	1.7	939	11.809	-1.259	-1.339	9.126	57.46
11	2.1	0	9.790	-1.015	-1.116	7.659	47.78
12	2.1	1035	16.568	-1.466	-2.086	13.015	82.97
13	2.5	141	17.442	-1.390	-2.258	13.596	84.44
14	2.5	1017	10.743	-1.095	-1.251	8.397	53.41
15	2.7	622	11.023	-1.491	-2.328	14.230	88.88
16	2.8	95	18.050	-1.133	-1.247	8.615	54.98
17	3.4	207	12.276	-1.274	-1.405	9.597	60.35
18	3.4	622	12.724	-1.391	-1.401	9.931	62.88

Pada Tabel 4 dapat dilihat aliran pada setiap bukaan dengan kecepatan angin rendah (0 m/s) dan radiasi matahari < 500 Watt/m² (324

Watt/m²). Skema aliran udara inlet dan outlet pada setiap bukaan *greenhouse* dapat dilihat pada Gambar 4.

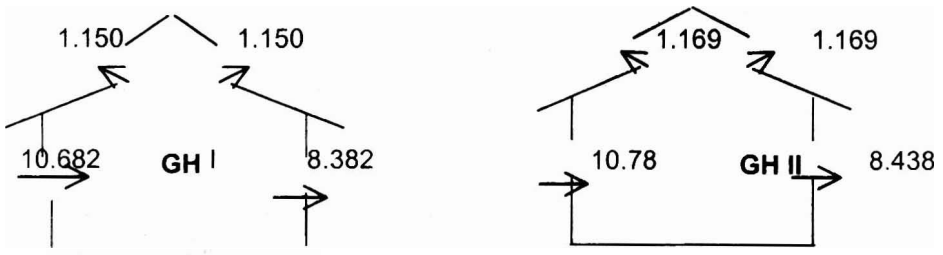
Tabel 4. Aliran udara pada setiap bukaan dengan kecepatan angin 0 m/s dan radiasi matahari 324 Watt/m²

No bukaan	Pt (kg/m ²)		Pw (kg/m ²)		dP (kg/m ²)		G (kg/s)	
	Grh	Grh	Grh	Grh	Grh	Grh	Grh	Grh
	I	II	I	II	I	II	I	II
1	0.031	0.032	0.0	0.0	0.047	-0.048	10.682	10.78
2	0.106	0.110	0.0	0.0	-0.029	-0.030	-1.150	-1.169
3	0.106	0.110	0.0	0.0	-0.029	-0.030	-1.150	-1.169
4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.382	8.438

Laju pertukaran massa udara (CHG) pada *greenhouse* dengan kecepatan angin 0 m/s dan radiasi matahari < 500 Watt/m². (Tabel 2, 3):

- CHG *greenhouse* I adalah = 53.73 /h

- CHG *greenhouse* II adalah = 54.09/h



Gambar 4. Skema aliran udara pada *greenhouse* dengan kecepatan angin rendah dan radiasi < 500 W/m² (inlet dan outlet)

Tabel 5 sampai 7 menunjukkan aliran pada setiap bukaan dengan kecepatan angin rendah (0 m/s) dan radiasi matahari ≥ 500 W/m² (529

Watt/m²) sampai kecepatan angin tinggi dengan radiasi tinggi. Skema aliran udara inlet dan outlet pada setiap bukaan *greenhouse* dapat dilihat pada Gambar 5 sampai 7.

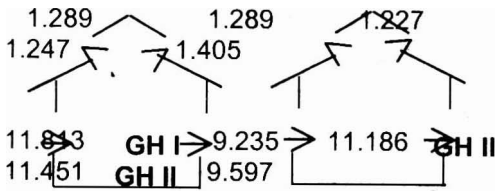
Tabel 5. Aliran udara pada setiap bukaan dengan kecepatan angin 0 m/s dan radiasi matahari 529 Watt/m²

No bukaan	Pt (kg/m ²)		Pw (kg/m ²)		dP (kg/m ²)		G (kg/s)	
	Grh	Grh	Grh	Grh	Grh	Grh	Grh	Grh
	I	II	I	II	I	II	I	II
1	0.038	0.035	0.0	0.0	0.058	0.052	11.813	11.186
2	0.132	0.119	0.0	0.0	-0.036	-0.032	-1.289	-1.227
3	0.132	0.119	0.0	0.0	-0.036	-0.032	-1.289	-1.227
4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.235	8.732

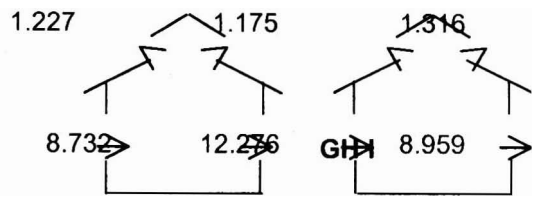
Laju pertukaran massa udara (CHG) pada *greenhouse* dengan kecepatan angin 0 m/s dan radiasi matahari ≥ 500 W/m². (Tabel 2, 3):

- CHG *greenhouse* I adalah = 58.28 /h

- CHG *greenhouse* II adalah = 55/h.



Gambar 5. Skema aliran udara pada greenhouse dengan kecepatan angin rendah dan radiasi $\geq 500 \text{ W/m}^2$



Gambar 6. Skema aliran udara pada greenhouse dengan kecepatan angin tinggi dan radiasi $< 500 \text{ W/m}^2$ (inlet dan outlet)

Tabel 6. Aliran udara pada setiap bukaan dengan kecepatan angin 3.4 m/s dan radiasi matahari 207 Watt/m²

No bukaan	Pt (kg/m ²)		Pw (kg/m ²)		dP (kg/m ²)		G (kg/s)	
	Grh I	Grh II	Grh I	Grh II	Grh I	Grh II	Grh I	Grh II
1	0.029	0.035	0.009	0.009	0.054	0.062	12.276	11.451
2	0.092	0.121	-0.002	-0.002	-0.029	-0.035	-1.175	-1.247
3	0.092	0.121	-0.009	-0.009	-0.037	-0.042	-1.316	-1.405
4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.959	9.597

Laju pertukaran massa udara (CHG) pada greenhouse dengan kecepatan angin 0 m/s dan radiasi matahari $\geq 500 \text{ W/m}^2$. (Tabel 2, 3) :

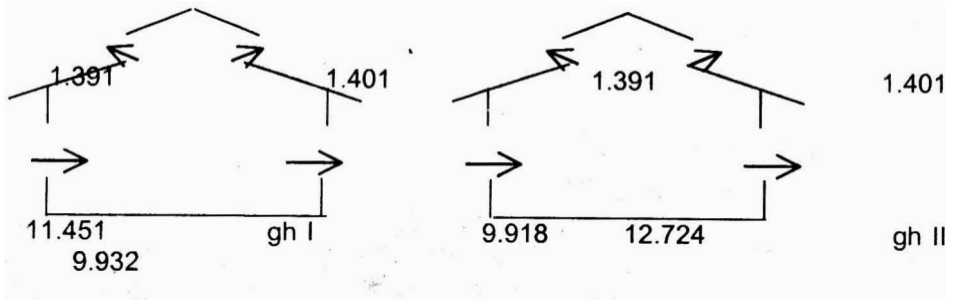
- CHG greenhouse I adalah = 56.34 /h
- CHG greenhouse II adalah = 60.35/h

Tabel 7. Aliran udara pada setiap bukaan dengan kecepatan angin 3.4 m/s dan radiasi matahari 622 Watt/m²

No bukaan	Pt (kg/m ²)		Pw (kg/m ²)		dP (kg/m ²)		G (kg/s)	
	Grh I	Grh II	Grh I	Grh II	Grh I	Grh II	Grh I	Grh II
1	0.010	0.045	0.009	0.0008	0.054	0.068	11.451	12.724
2	0.102	0.153	-0.002	-0.0002	-0.029	-0.042	-1.391	-1.391
3	0.102	0.153	-0.009	-0.0008	-0.037	-0.042	-1.401	-1.401
4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.918	9.932

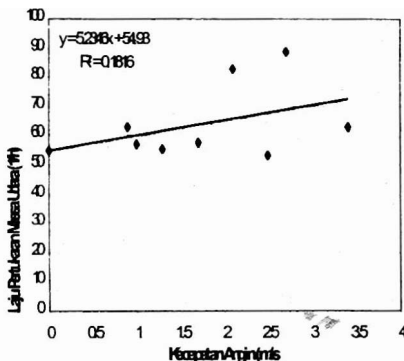
Laju pertukaran massa udara (CHG) pada greenhouse dengan kecepatan angin 0 m/s dan radiasi matahari $\geq 500 \text{ W/m}^2$. (Tabel 2, 3) :

- CHG greenhouse I adalah = 62.80 /h
- CHG greenhouse II adalah = 62.88/h

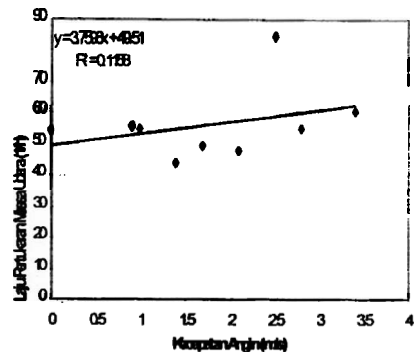


Gambar 7. Skema aliran udara pada *greenhouse* dengan kecepatan angin tinggi dan radiasi $\geq 500 \text{ W/m}^2$ (inlet dan outlet)

Hasil dari perhitungan laju ventilasi alami pada *greenhouse* I dan II menunjukkan bahwa dengan kecepatan 0 m/s baik cuaca cerah maupun mendung, ventilasi dinding seluruhnya berfungsi sebagai inlet dan ventilasi atap seluruhnya berfungsi sebagai outlet. Hal tersebut terjadi juga pada kecepatan yang tinggi (3.4 m/s). Dari hasil perhitungan pada *greenhouse* yang diteliti faktor termal lebih berpengaruh dibandingkan dengan faktor angin. Faktor angin tidak banyak berpengaruh dalam mendorong laju ventilasi alami pada *greenhouse* yang diteliti.



Gambar 8. Hubungan Laju Kecepatan Angin dengan Laju Pertukaran Massa Udara (CHG) *Greenhouse* I pada Radiasi $\geq 500 \text{ W/m}^2$

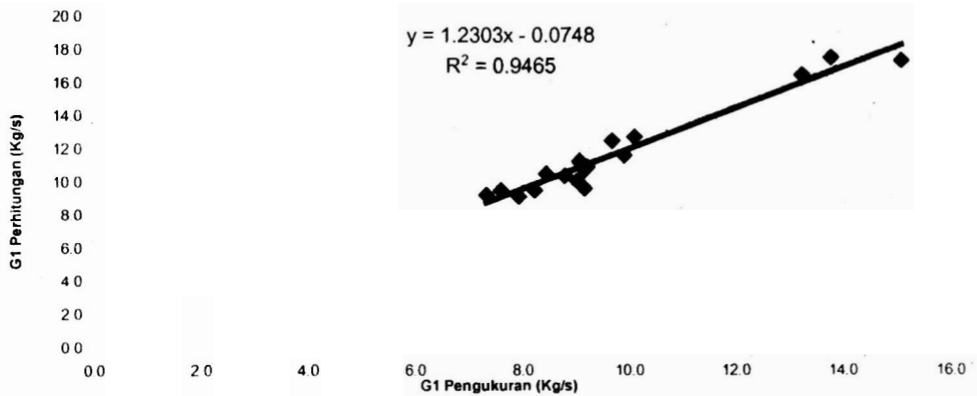


Gambar 9. Hubungan Laju Kecepatan Angin dengan Laju Pertukaran Massa Udara (CHG) *Greenhouse* I < 500 W/m^2

Grafik pada Gambar 8 Gambar 9 menggambarkan laju aliran udara yang ada berubah secara tidak beraturan pada saat kecepatan angin tinggi $\geq 500 \text{ W/m}^2$. Dari grafik dihasilkan persamaan sebagai berikut, untuk *greenhouse* I dengan radiasi < 500 W/m^2 $Y = 4.0681x + 48.055$ dengan $R^2 = 0.1192$ dan untuk radiasi $\geq 500 \text{ W/m}^2$, $Y = 6.098x + 51.481$ dengan $R^2 = 0.2029$. demikian pula untuk *greenhouse* II. Persamaan regresi yang dihasilkan diatas menunjukkan bahwa ventilasi alami pada *greenhouse* tempat penelitian belum memadai karena terdapat perbedaan antara laju

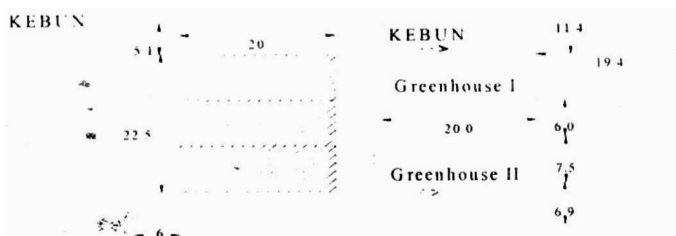
pertukaran massa udara untuk cuaca cerah dan mendung dan perbedaan temperatur didalam dengan diluar bangunan mencapai nilai 6 – 7 °C. Perbandingan laju ventilasi alami hasil perhitungan dengan program komputer dan pengukuran menggunakan metode bola-bola gabus menghasilkan error sebesar

22 % - 24 % untuk seluruh bukaan baik untuk *greenhouse* I dan II. Nilai error yang masih dapat ditoleri adalah 30%. Hal ini menunjukkan bahwa program komputer yang dipergunakan sudah memadai untuk memprediksi laju ventilasi alami didalam bangunan.



Gambar 10. Hubungan antara $G1$ hasil pengukuran dan perhitungan pada *greenhouse* I .

D



Penataan Lokasi *single span greenhouse* Faperta, IPB

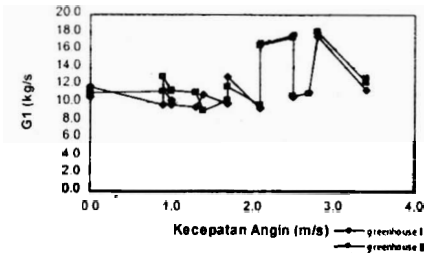
Gambar 10. Denah Lokasi Bangunan *Greenhouse*

Untuk perbandingan $G1$ (Gambar 9) dihasilkan persamaan $y = 1,2303 + 0,0748$ dan $R^2 = 0,9465$. Bekerjanya fak

tor angin dipengaruhi oleh bentuk dan tata letak bangunan.

Laju tidak berbeda jauh sebagaimana ditunjukkan dalam grafik dimana keduanya saling berhimpitan.

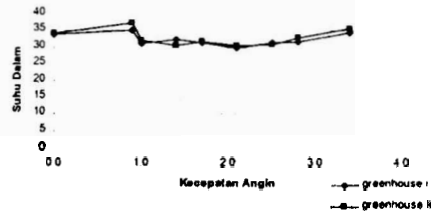
aliran udara antara *greenhouse* I dan *greenhouse* II tidak mampu yai perbedaan yang cukup besar dan suhu udara didalam *green house* I dan *greenhouse* II juga



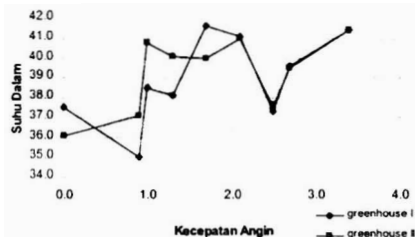
Gambar 11. Perbandingan G1 antara *greenhouse* I dan *greenhouse* II pada radiasi $> 500 \text{ W/m}^2$

Perbandingan laju ventilasi alami pada bukaan 1 antara *greenhouse* 1 dan *greenhouse* II

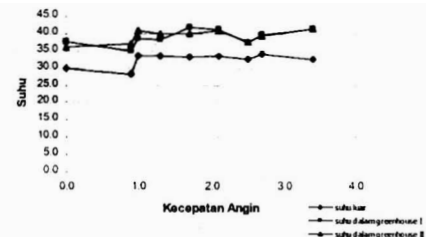
dapat dilihat pada Gambar 11. Hasil perbandingan tersebut menunjukkan bahwa jarak dan tata letak bangunan sudah memenuhi persyaratan.



Gambar 12. Perbandingan suhu antara *greenhouse* 1 dan II pada radiasi $< 500 \text{ W/m}^2$



Gambar 13 Perbandingan antara suhu dalam *greenhouse* I dan *greenhouse* II pada radiasi $\geq 500 \text{ W/m}^2$



Gambar 14. Perbandingan suhu dalam dan suhu luar bangunan *greenhouse* 1 dan II pada radiasi $> 500 \text{ W/m}^2$

cukup tinggi dalam bangunan *greenhouse* 1 dan II, dan untuk kecepatan angin $> 2 \text{ m/s}$ suhu dalam bangunan hampir tidak terdapat perbedaan. Perbedaan antara suhu dalam *greenhouse* I dan *greenhouse* II dan suhu luar rata-rata sekitar $6-7^\circ \text{C}$. (Gambar 14). Dari grafik pada Gambar 13 dan Tabel 2 dan 3 dapat dilihat bahwa pada radiasi $\geq 500 \text{ W/m}^2$ tidak ada perbedaan antara suhu dalam *greenhouse* I dan II.

KESIMPULAN.

Dari hasil perhitungan diperoleh letak bidang tekanan netral pada *greenhouse* yang dikaji adalah 3,5 meter dari lantai, sehingga dinding ventilasi hanya berfungsi sebagai inlet saja. Laju ventilasi alam yang terjadi pada *greenhouse* yang diteliti lebih dipengaruhi oleh faktor termal daripada factor angin. Error dari laju ventilasi alami hasil perhitungan dan pengukuran sebesar 22% - 24 %, nilai tersebut masih dibawah nilai

error yang dapat ditolerir yaitu 30%, sehingga program komputer yang dibuat dapat dipergunakan untuk memprediksi ventilasi alami pada *single span greenhouse*. Jarak bangunan sudah memadai hal ini terlihat dari grafik perbandingan suhu udara pada *greenhouse* 1 dan *greenhouse* 2 yang saling berhimpitan.

DAFTAR PUSTAKA

- Bot, G. P. A. 1983. Greenhouse Climate : from Physical Processes to a Dynamic Model, thesis. Agricultural University of Wageningen. The Netherlands.
- Brockett, B.L. and L.D. Albright. 1987. Natural ventilation in single airspace building. J. Agricultural Engineering Research (37) : 141-154
- Bruce, J. M. 1978. Natural convection through opening and its application in cattle building ventilation, Journal of Agricultural Engineering Research (28): 151-167.
- Kozai, T. and S. Sase. 1978. A Simulation of natural ventilation for a multispan greenhouse. Journal of Acta Horticulture (87) : 339-348.
- Nelson, P.V. 1981. Greenhouse Operation and Management. Reston Publishing Company, Inc. Virginia.
- Papadakis, G., M. Mermier, J.F. Meneses, and T. Boulard. 1996. Measurement and analysis of air exchange rates in greenhouse with continuous roof and side opening. Journal of Agricultural Engineering Research (63): 219-228.
- Randall, J.M. and C.R. Boon. 1997. Ventilation Control and Systems. Animal Science and Engineering Division, Silso Research Institute. UK.
- Widyastuti, Yustina E. 1993. Greenhouse : Rumah untuk Tanaman. PT. Penebar Swadaya, Jakarta.
- Yanda, B. and R. Fisher. 1976. Solar Greenhouse Design Construction and Operation. John Muir Publications. St. Florida.
- Zhang, J.S., K.A. Janni, and L.D. Jacobson. 1989. Modelling Natural Ventilation Induced by Combined Thermal Buoyancy and Wind. Transactions of the ASAE 32(6) : 2165-2174.