

**ANALISIS STRUKTUR DAN FUNGSIONAL GREENHOUSE (STUDI KASUS KEBUN PERCOBAAN DAN RUMAH KACA FAKULTAS PERTANIAN, UNIVERSITAS PADJADJARAN)**  
*Structural and Functional Analysis of Greenhouse (Case Study at Experimental Field and Greenhouses Faculty of Agriculture, Universitas Padjadjaran)*

**Anadia Nafila<sup>1)</sup>, Dedy Prijatna<sup>2)</sup>, Totok Herwanto<sup>2)</sup>, Handarto<sup>2)</sup>**

<sup>1)</sup>Alumnus Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem, Fakultas Teknologi Industri Pertanian, Universitas Padjadjaran

Jl. Bandung Sumedang Km 21, Jatinangor, Sumedang, Jawa Barat, Indonesia 40600

<sup>2)</sup>Staff Departemen Teknik dan Biosistem, Fakultas Teknologi Industri Pertanian, Universitas Padjadjaran  
Jl. Bandung Sumedang Km 21, Jatinangor, Sumedang, Jawa Barat, Indonesia 40600

Email : nafilanadia@gmail.com

**ABSTRAK**

Bangunan *greenhouse* digunakan untuk menciptakan kondisi optimal dalam kegiatan budidaya tanaman dengan lingkungan terkendali. Kondisi bangunan *greenhouse* harus dapat memenuhi persyaratan teknis struktur maupun syarat tumbuh optimal tanaman sehingga diperlukan analisis struktur dan fungsional untuk menentukan kelayakan bangunan dengan menggunakan metode analisis deskriptif. Hasil penelitian analisis struktur bangunan *greenhouse* menunjukkan bahwa tegangan tarik yang terjadi pada struktur atap, kuda-kuda, dinding tembok dan dinding plastik secara berurutan sebesar 1.404 kg/m<sup>2</sup>, 571.900 kg/m<sup>2</sup>, 1.283 kg/m<sup>2</sup>, dan 2.832 kg/m<sup>2</sup>. Tegangan lentur yang terjadi pada struktur gording sebesar 319.100 kg/m<sup>2</sup> dan pada kolom berkisar antara 1.041.000-42.710.000 kg/m<sup>2</sup> serta lendutan yang terjadi pada kasau, gording, dan dinding relatif sangat kecil. Pembebanan keseluruhan bangunan menyebabkan terjadinya tegangan tekan pada pondasi sebesar 14.392 kg/m<sup>2</sup> dengan daya dukung tanahnya dapat mencapai 20.119 kg/m<sup>2</sup>. Keseluruhan hasil analisis struktur yang sudah dilakukan menunjukkan bahwa bangunan dalam kondisi yang layak terhadap pembebanan maupun evaluasi. Hasil analisis fungsional menunjukkan bahwa suhu rata-rata di dalam bangunan mencapai 28 °C dengan kelembaban relatif sebesar 73% menunjukkan bahwa kondisi tersebut cukup memenuhi syarat optimal pertumbuhan tanaman tomat cherry pada fase vegetatif.

Kata Kunci: analisis fungsional, analisis struktur, greenhouse, kelayakan

**ABSTRACT**

*Greenhouse is the agriculture fabrication which used to creating optimal condition for cultivation with controlled system. Greenhouse condition must be set in the structural requirement and suited with growth activity of the plant which is measured by functional descriptive analysis method. The result of greenhouse structure analysis showed that tensile stresses of roof structure, truss, wall and plastic wall are 1,404 kg/m<sup>2</sup>, 571,900 kg/m<sup>2</sup>, 1,283 kg/m<sup>2</sup>, dan 2,832 kg/m<sup>2</sup>, respectively. Bending stress occurring in the purlin structure is 319,100 kg/m<sup>2</sup> and reinforced column ranged from 1,041,000-42,710,000 kg/m<sup>2</sup> and the deflections that occur on the rafters, truss, and wall are relatively small. The total loading of building causes the compressive stress on foundation is 14,392 kg/m<sup>2</sup> in which the carrying capacity of the soil can reach 20,119 kg/m<sup>2</sup>. The overall results of structural analysis that have been done indicate that building is in proper condition against the loading and evaluation. The result of functional analysis shows that the average temperature in the building reaches 28 °C with relative humidity of 73% indicates that the condition has met the optimal requirement of cherry tomato plant growth in the vegetative phase.*

Keywords: feasibility, functional analysis, greenhouse, structure analysis

Diterima : 7 Februari 2018 ; Disetujui : 29 Maret 2018; Online Published : -  
DOI : 10.24198/jt.vol12n1.4

## PENDAHULUAN

*Greenhouse* di Kebun Percobaan dan Rumah Kaca Fakultas Pertanian, Universitas Padjadjaran (Rumah Kaca D) merupakan suatu bangunan pertanian yang digunakan sebagai sarana penelitian untuk budidaya tanaman. Menurut Alahudin dkk (2013), kegiatan penelitian memungkinkan dilakukan di dalam *greenhouse* karena kondisi lingkungannya yang dapat dimanipulasi dan disesuaikan dengan kebutuhan tanaman (*controlled environment agriculture*). Tanaman di dalam bangunan dapat terisolasi dari kondisi alam dan faktor eksternal lainnya yang tidak diharapkan. Kondisi di dalam *greenhouse* yang dapat mengisolasi tanaman dibuat agar pencahayaan yang terjadi berlangsung secara baik dan optimum untuk pertumbuhan tanaman (Inayah, 2007).

Menurut Morib (2012), konstruksi bangunan *greenhouse* terdiri dari bagian-bagian struktur yang saling menopang dan mendukung satu dan lainnya dalam menopang pembebanan yang terjadi untuk memberikan kekuatan dan kekakuan pada bangunan. Struktur bangunan yang baik merupakan struktur yang layak dalam memenuhi kebutuhan struktural bangunan sehingga dapat tercipta kondisi yang aman dan nyaman bagi penggunanya. Keamanan struktur bangunan mutlak harus memperhatikan sifat fisik dan mekanik bahan yang disertai pertimbangan faktor keselamatannya.

Menurut Koesmaryono dkk (1997), iklim memiliki pengaruh penting terhadap kondisi fungsional *greenhouse* dalam menciptakan kondisi yang optimal bagi budidaya tanaman. Parameter iklim di sekitar bangunan dapat memberikan pengaruh langsung terhadap kondisi lingkungan di dalam bangunan pada ruang terbatas yang berbeda dengan kondisi iklim di luar bangunan. Kondisi lingkungan disekitar *greenhouse* tersebut sangat mempengaruhi kondisi kenyamanan termal di dalam bangunan (Alahudin, 2013). Pengamatan iklim mikro pada bangunan *greenhouse* umumnya meliputi intensitas cahaya, suhu udara, kelembaban

udara, kecepatan angin, serta perpindahan kalor dan perpindahan massa yang terjadi di dalam bangunan (Hariadi, 2007). Hasil penelitian Hasan (2016) menunjukkan suhu di dalam *greenhouse* dapat mencapai di atas 30 °C yang menunjukkan bahwa kondisi tersebut tidak memenuhi syarat tumbuh optimal tanaman tomat cherry. Kondisi suhu di dalam bangunan yang terlalu tinggi tersebut membutuhkan pengendalian iklim mikro dengan cara pendinginan.

Penentuan kelayakan *greenhouse* dapat dilakukan pada setiap komponen utama struktur untuk mempertimbangkan kekuatan dan kekakuan bangunan dalam memberikan stabilitas struktural melalui analisis struktur (Frick, 1980). Gaya-gaya yang terjadi pada konstruksi harus lebih kecil dari nilai yang diijinkan berdasarkan persyaratan teknis bahan sehingga bangunan tidak mengalami kerusakan yang berarti dan dapat dikatakan layak. Selain itu diperlukan juga analisis fungsional bangunan *greenhouse* yang erat kaitannya dengan kesesuaian kondisi iklim mikro terhadap syarat tumbuh optimal tanaman di dalam bangunan. Pada kondisi lingkungan dengan iklim mikro yang tidak sesuai dengan syarat tumbuh tanaman, *greenhouse* tidak dapat menjalankan fungsinya secara optimal. Oleh karena itu, penelitian ini dimaksudkan untuk menggambarkan serta mengevaluasi kondisi *greenhouse* di lokasi penelitian berdasarkan fungsional dan kelayakan bangunannya.

## METODOLOGI

### Waktu dan Tempat

Penelitian ini telah dilaksanakan pada bulan Mei 2017 sampai dengan bulan Desember 2017. Lokasi penelitian dilaksanakan di Rumah Kaca D, Kebun Percobaan dan Rumah Kaca Fakultas Pertanian, Universitas Padjadjaran, Kabupaten Sumedang, Jawa Barat.

### Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan untuk penelitian adalah: Hobo Onset *Data Logger* U30-Nrc *Weather Station*, Onset S-THB-

M002 Temperature/ RH Smart Sensor, Onset S-WSA-M003 Wind Speed Smart Sensor, Onset S-LIA-M003 Photosynthetically Active Radiation (PAR) Sensor, Rollmeter, Soil Cone Penetrometer, HOBOWare Graphing & Analysis Software, Kalkulator, Software AutoCAD 2006, PsychoGen 2.0, dan Software Microsoft Excel 2010. Sedangkan bahan yang digunakan yaitu *greenhouse* penelitian (Rumah Kaca D), data primer, dan sekunder. Data primer diperoleh dari hasil penelitian secara langsung berdasarkan pengamatan, pengukuran, perhitungan, dan analisis. Data sekunder yang digunakan yaitu data klimatologi 10 tahun terakhir dan persyaratan teknis bahan struktur bangunan yang digunakan sebagai literatur ketahanan bahan konstruksi.

### Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan menerapkan metode deskriptif untuk menilai kelayakan *greenhouse*. Hasil penelitian didapatkan dari 2 variabel utama, yaitu variabel yang diukur dan dihitung.

#### 1. Variabel yang Diukur

Variabel yang diukur dalam penelitian ini diantaranya adalah pengukuran dimensi *greenhouse* meliputi setiap komponen struktur utama bangunan, kondisi iklim mikro di dalam dan di luar bangunan, dan gaya penetrasi tanah.

#### 2. Variabel yang Dihitung

Variabel yang dihitung dalam penelitian ini dilakukan untuk menentukan konstruksi utama bangunan dan kondisi iklim mikro.

Kelayakan Konstruksi Utama Bangunan

Perhitungan kelayakan konstruksi utama bangunan berdasarkan pembebanan dan evaluasi kekuatan bahan dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut:

#### 3. Struktur Atap

Menurut Nelson et al. (1988), pembebanan yang terjadi pada struktur atap akibat berat atap itu sendiri dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan:

$$W_a = L_a \times t_a \times \rho_a \times i \quad (1)$$

Menurut Hanan et al. (1978) pembebanan struktur atap akibat hembungan angin dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$W_w = 4,9 \times 10^{-3} \times C \times v^2 \times L_a \quad (2)$$

Menurut Kwantes (1984), resultan pembebanan yang terjadi pada struktur atap dan evaluasi struktur berupa tegangan tarik maupun lendutan dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan:

$$R = \sqrt{W_a^2 + W_w^2 + (2 \times W_a \times W_w \times \cos \alpha)} \quad (3)$$

$$\tau = \frac{R_x}{A} \quad (4)$$

$$\delta_a = \frac{R_y}{A \times \text{Tegangan Ijin}} \times 1\% \text{ jarak bentang} \quad (5)$$

Keterangan:

$W_a$  = Beban (bobot) atap (N)

$L_a$  = Luas atap ( $m^2$ )

$t_a$  = Tebal atap (m)

$\rho_a$  = Massa jenis bahan atap ( $N/m^3$ )

$i$  = Jumlah lapisan atap

$W_w$  = Beban akibat hembusan angin (N)

$C$  = Konstanta angin

$v$  = Kecepatan angin maksimal (km/jam)

$W_w$  = Beban angin (N)

$\alpha$  = Sudut kemiringan atap ( $^\circ$ )

$\tau$  = Tegangan tarik ( $N/m^2$ )

$R_x$  = Gaya R yang menimbulkan tarikan (N)

$R_y$  = Gaya R yang menimbulkan lendutan (N)

$\delta_a$  = Lendutan pada atap (m)

$A$  = Luas penampang lendutan ( $m^2$ )

#### 4. Struktur Kasau

Menurut Nelson et al. (1988), pembebanan yang terjadi pada struktur kasau akibat berat kasau itu sendiri dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan:

$$W_g = L_g \times p_g \times \rho_g \quad (6)$$

Menurut Kwantes (1984), pembebanan total yang ditanggung oleh struktur kasau dan evaluasi struktur berupa tegangan lentur, lendutan, maupun tegangan geser yang terjadi dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan:

$$W_{gt} = W_g + R \quad (7)$$

$$\tau_l = \frac{M_{max}}{S_g} \quad (8)$$

$$\delta_g = \frac{W_{gt} \times p_g^3}{384 \times E \times I} \quad (9)$$

$$\tau_g = \frac{W_{gt}}{2 \times A_g} \quad (10)$$

Keterangan:

- $W_g$  = Beban gording (N)  
 $W_{gt}$  = Total beban pada gording (N)  
 $W_g$  = Beban pada gording (N)  
 $\tau_l$  = Tegangan lentur pada gording (N/m<sup>2</sup>)  
 $M_l$  = Momen lentur pada gording (Nm)  
 $S_g$  = Modulus penampang (m<sup>3</sup>)  
 $F_g$  = Total beban pada gording (N)  
 $p_g$  = Jarak bentang gording (m)  
 $E$  = Modulus elastis (N/m<sup>2</sup>)  
 $I$  = Momen inersia (m<sup>4</sup>)  
 $\tau_g$  = Tegangan geser (N/m<sup>2</sup>)

### 5. Struktur Kuda-kuda

Menurut Kwantes (1984), pembebanan total yang ditanggung oleh struktur kuda-kuda dan evaluasi struktur berupa tegangan tarik yang terjadi dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan:

$$W_k = A_k \times p_k \times \rho_k \quad (11)$$

$$W_{kt} = W_k + W_{gt} \quad (12)$$

$$\tau_t = \frac{F_t}{A} \quad (13)$$

Menurut Arce (1993), besarnya gaya tekan maksimal yang terjadi pada struktur kuda-kuda dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan:

$$F_p = \frac{\pi^2 \times E \times I}{\omega \times lk^2} \quad (14)$$

Keterangan:

- $W_k$  = Beban kuda-kuda (N)  
 $W_{kt}$  = Total beban pada kuda-kuda (N)  
 $F_p$  = Gaya tekan maksimal yang diizinkan (kg)  
 $lk$  = Panjang lekukan (m)  
 $\omega$  = Faktor tekuk  
 $F_t$  = Gaya tarik maksimal pada kuda-kuda (N)

### 6. Struktur Dinding

Menurut Nelson et al. (1988), penentuan pembebanan yang terjadi pada struktur dinding yang diakibatkan oleh berat dinding itu sendiri dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan:

$$W_d = L_d \times t_d \times \rho_d \quad (15)$$

Menurut Kwantes (1984), evaluasi struktur dinding berupa tegangan tarik maupun lendutan yang terjadi dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan:

$$\tau_t = \frac{R_x}{A} \quad (16)$$

$$\delta a = \frac{R_y}{A \times \text{Tegangan Ijin}} \times 1\% \text{ jarak bentang} \quad (17)$$

Keterangan:

- $W_d$  = Beban dinding (N)

### 7. Struktur Kolom

Menurut Asroni (2010), penentuan beban yang terjadi pada kolom yang terjadi dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan:

$$W_c = m_c \times g \times p_c \quad (18)$$

Menurut Kwantes (1984), evaluasi struktur kolom berupa tegangan lentur maupun tegangan geser yang terjadi dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan:

$$\tau_l = \frac{M_{max}}{S_g} \quad (19)$$

$$\tau_g = \frac{F_g}{A_c} \quad (20)$$

Keterangan:

- $W_c$  = Beban kolom (N)

### 8. Struktur Pondasi

Menurut Gunawan (1983), penentuan pembebanan total dan luas pondasi minimal dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan:

$$W_p = \rho_p \times V_p \quad (21)$$

$$D_p = \frac{W_p}{\sigma_t} \quad (22)$$

Menurut Allen (2005), nilai indeks kerucut tanah untuk menentukan daya dukung tanah terhadap pembebanan bangunan dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan:

$$CI = \frac{F_{CI}}{A_{CI}} \quad (23)$$

Keterangan:

- $W_p$  = Beban total pada pondasi (N)  
 $\rho_p$  = Berat jenis pondasi (kg/m<sup>3</sup>)  
 $V_p$  = Volume pondasi (m<sup>3</sup>)  
 $D_p$  = Luas pondasi (m<sup>2</sup>)  
 $\sigma_t$  = Daya dukung tanah diizinkan (N/m<sup>2</sup>)  
 $CI$  = Indeks kerucut tanah (kg/m<sup>2</sup>)  
 $F_{CI}$  = Gaya penetrasi tanah (kg)  
 $A_{CI}$  = Luas penampang kerucut (m<sup>2</sup>)

### 9. Kondisi Iklim Mikro

Kondisi iklim mikro dapat ditentukan berdasarkan beberapa parameter yang kemudian nilai tersebut dibandingkan dengan

syarat optimum untuk pertumbuhan tanaman. Pengambilan data dikelompokkan ke dalam 3 kondisi waktu berdasarkan ketentuan BMKG Tahun 2016, yaitu pada pagi hari (pukul 07.00-12.59 WIB), siang hari (pukul 13.00-17.59 WIB), dan malam hari (pukul 18.00-06.59 WIB). Penentuan kondisi iklim mikro dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

Intensitas Radiasi Matahari

$$\bar{T} = \frac{2 \cdot T_{\text{pagi}} + T_{\text{siang}} + T_{\text{malam}}}{4} \quad (24)$$

Keterangan:

$\bar{T}$  = Suhu udara rata-rata (°C)

$T_{\text{pagi}}$  = Suhu udara rata-rata pagi hari (°C)

$T_{\text{siang}}$  = Suhu udara rata-rata siang hari (°C)

$T_{\text{malam}}$  = Suhu udara rata-rata malam hari (°C)

#### a) Kelembaban Udara

Penentuan kelembaban mutlak udara dapat dilakukan di dalam ( $AH_i$ ) maupun di luar ( $AH_o$ ) bangunan *greenhouse* dengan menggunakan persamaan (Handarto et al., 2006):

$$AH_i = \varepsilon \cdot \frac{e_i}{P_o - e_i} \quad (25)$$

$$AH_o = \varepsilon \cdot \frac{e_o}{P_o - e_o} \quad (26)$$

Keterangan:

$AH_i$  = Kelembaban mutlak dalam ( $\text{kg kg}^{-1}_{\text{uk}}$ )

$AH_o$  = Kelembaban mutlak luar ( $\text{kg kg}^{-1}_{\text{uk}}$ )

$\varepsilon$  = Rasio berat molekul air-udara (0,622)

$e_i$  = Tekanan uap air di dalam bangunan (kPa)

$e_o$  = Tekanan uap air di luar bangunan (kPa)

$P_o$  = Tekanan atmosfer (kPa)

#### b) Kecepatan Angin

Penentuan nilai kecepatan angin maksimal dapat dilakukan dengan mempertimbangkan periode ulang dengan menggunakan metode Gumbell sebagai berikut (Soemarto, 1999):

$$X_T = \bar{X} + K \cdot S_d \quad (27)$$

$$K = \frac{Y_T - Y_n}{S_n} \quad (28)$$

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (29)$$

Keterangan:

$X_T$  = Kecepatan angin rancangan (m/s)

$\bar{X}$  = Rata-rata kecepatan angin maksimal (m/s)

$K$  = Faktor frekuensi

$S_d$  = Standar deviasi

$Y_T$  = Reduce variate

$Y_n$  = Reduce mean

$S_n$  = Reduce standard deviasi

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Analisis Struktur Bangunan *Greenhouse*

Penentuan kelayakan bangunan dapat diketahui dengan analisis yang dilakukan pada setiap struktur bangunan berdasarkan sifat fisik dan mekanik bahan. Tahapan analisis struktur diawali dengan melakukan identifikasi karakteristik bahan, pengukuran dimensi, serta melakukan analisis mengenai pembebanan yang terjadi dan evaluasi kekuatan struktur bangunan.

Bangunan *greenhouse* penelitian ini merupakan *greenhouse* dengan tipe atap *modified standard peak* yang dilengkapi dengan atap monitor sebagai ruang ventilasi. Luasan total *greenhouse* mencapai 8,44 m x 24 m yang dibagi menjadi 3 ruangan sama besar dengan tinggi total bangunan sebesar 6,87 m (terdapat pada Gambar 1). Bangunan *greenhouse* sendiri terdiri dari 6 struktur utama, yaitu struktur atap, kasau, gording, kuda-kuda, dinding, kolom, dan pondasi yang setiap struktur tersebut ditinjau berdasarkan kekuatan dan ketahanannya. Rincian evaluasi akibat pembebanan yang terjadi dalam menentukan kelayakan struktur bangunan *greenhouse* terdapat pada Tabel 1.

Struktur atap pada *greenhouse* penelitian ini merupakan atap berbahan kaca lembaran tipe G dengan ketebalan 8 mm dan kemiringan atap mencapai 30,556°. Menurut Widyastuti (1993), kemiringan atap tersebut tergolong optimal dalam mengalirkan air hujan yang mengenai atap dan dalam mentransmisikan radiasi sinar matahari. Pembebanan yang terjadi pada atap didapat dari beban bahan penutup atap dan beban angin yang dipengaruhi oleh kecepatan angin rancangan

maksimal sebesar 42,862 m/s. Beban atap atas dapat mencapai 2.767,8 kg dan 6.663,15 kg pada atap bawah. Pembebanan yang terjadi pada atap menyebabkan terjadinya tegangan tarik pada tepi atap sebesar 1.404 kg/m<sup>2</sup> dan lendutan sebesar 0,002 x 10<sup>-4</sup> mm.

Struktur kasau pada *greenhouse* berupa bingkai berbahan *square tube* untuk setiap bagian kecil bahan penutup atap. Pembebanan yang terjadi pada kasau atap atas sebesar 3.646,2 kg dan 8.770,8 kg pada kasau atap bawah. Beban yang ditahan oleh struktur kasau ini menyebabkan terjadinya lendutan pada kasau pada arah horizontal sebesar 0,013 x 10<sup>-4</sup> mm dan 0,023 x 10<sup>-4</sup> mm pada arah vertikal.

Struktur gording digunakan sebagai penyangga maupun dudukan untuk atap dan kasau. Pada setiap kemiringan atap terdiri dari 4 batang gording pada atap atas dan 7 batang gording pada atap bawah. Bahan struktur gording merupakan baja kanal C ringan berukuran 150 mm x 50 mm x 20 mm dengan ketebalan 2,32 mm. Beban yang ditahan oleh gording berasal dari pembebanan akibat atap, kasau, dan beban gording itu sendiri yang besarnya mencapai 15.006,06 kg. Pembebanan yang terjadi tersebut menyebabkan terjadinya tegangan lentur sebesar 0,032 x 10<sup>7</sup> kg/m<sup>2</sup>, lendutan sebesar 3,851 mm, dan tegangan geser sebesar 1,770 x 10<sup>5</sup> kg/m<sup>2</sup>.

Bangunan *greenhouse* dilengkapi oleh 5 batang kuda-kuda pada atap atas sepanjang 12 m dan 7 batang kuda-kuda pada atap bawah sepanjang 3 m dengan jarak antar kuda-kuda sebesar 4 m. Struktur kuda-kuda terdiri dari bahan baja profil *wide flange* (IWF) *beam* berukuran 150 mm x 75 mm. Beban yang ditahan oleh satu batang kuda-kuda pada atap atas sebesar 4.780,4 kg dan 11.821,6 kg pada satu batang kuda-kuda bawah. Pembebanan total yang ditahan oleh kuda-kuda pada atap bawah sebesar 16.602,1 kg yang menimbulkan tegangan tarik sebesar 0,572 x 10<sup>6</sup> kg/m<sup>2</sup> dan gaya tekan maksimal sebesar 1,294 x 10<sup>5</sup> kg.

Struktur dinding pada *greenhouse* penelitian terdiri dari beberapa jenis bahan

diantaranya adalah dinding tembok ½ bata setinggi 0,77 m, dinding plastik UV, kassa aluminium, kassa plastik, dan kaca setinggi 2,95 m, serta dinding pada ventilator setinggi 0,65 m. Namun dalam hal ini dinding plastik UV hanya terdapat pada 1 ruangan *greenhouse* (Rumah Kaca D) dan dinding kaca hanya terdapat pada sekat antar ruangan saja. Beban keseluruhan dinding tanpa dipengaruhi oleh pembebanan yang terjadi pada struktur di atasnya dapat mencapai 16.400,4 kg. Dinding yang dipengaruhi oleh beban angin mengalami tegangan tarik dan lendutan. Dinding tembok mengalami tegangan tarik sebesar 0,013 x 10<sup>5</sup> kg/m<sup>2</sup> dan lendutan sebesar 0,032 x 10<sup>-2</sup> mm. Sedangkan dinding plastik UV mengalami tegangan tarik sebesar 0,028 x 10<sup>5</sup> kg/m<sup>2</sup> dan lendutan sebesar 0,030 x 10<sup>-2</sup> mm.

Pembebanan yang terjadi pada bangunan *greenhouse* ditahan oleh 18 kolom berbahan baja profil IWF berukuran 150 mm x 75 mm yang kemudian disalurkan menuju pondasi. Pembebanan total yang ditahan oleh struktur kolom dapat mencapai 35.082,3 kg yang kemudian beban didistribusikan secara merata menjadi 1.949 kg/kolom. Beban yang ditahan oleh struktur kolom tersebut menimbulkan adanya tegangan tekan sebesar 0,294 x 10<sup>7</sup> kg/m<sup>2</sup> serta tegangan lentur dan tegangan geser yang terjadi pada 3 kondisi berbeda.

Keseluruhan pembebanan yang terjadi pada bangunan *greenhouse* ditahan oleh pondasi yang kemudian disalurkan ke dalam tanah untuk memberikan kestabilan bangunan. Struktur pondasi yang tersedia terdiri dari 18 buah pondasi telapak persegi berukuran 0,5 m x 0,5 m dengan volume 0,03 m<sup>3</sup> dan 4 buah pondasi menerus berukuran 0,5 m x 0,5 m dengan volume 0,019 m<sup>3</sup> yang terhubung oleh *sloof*. Pembebanan yang terjadi pada pondasi dapat menimbulkan tegangan tekan sebesar 1,439 x 10<sup>4</sup> kg/m<sup>2</sup> dan 7,202 kg/m<sup>2</sup> tegangan geser.

Tabel 1. Data hasil analisis struktur bangunan pada *greenhouse*

No.	Struktur	Hasil Perhitungan	Nilai yang Diijinkan	Sat.	Sumber	Ket.	
1.	Atap						
	Tegangan tarik	$0,001 \times 10^6$	$1,880 \times 10^6$	kg/m <sup>2</sup>	Belis et al. (2013)	Layak	
	Lendutan	$0,002 \times 10^{-4}$	$31,150 \times 10^{-4}$	mm	Belis et al. (2013)	Layak	
2.	Kasau						
	Lendutan arah horizontal	$0,013 \times 10^{-4}$	$1,070 \times 10^{-4}$	mm	Purnomo dkk (2013)	Layak	
	Lendutan arah vertikal	$0,023 \times 10^{-4}$	$1,070 \times 10^{-4}$	mm	Purnomo dkk (2013)	Layak	
3.	Gording						
	Tegangan lentur	$0,032 \times 10^7$	$2,497 \times 10^7$	kg/m <sup>2</sup>	SNI 07-0138-1987	Layak	
	Lendutan	$3,851 \times 10^0$	$16,667 \times 10^0$	mm	SNI 03-1729-2002	Layak	
	Tegangan geser	$1,770 \times 10^5$	$81,550 \times 10^5$	kg/m <sup>2</sup>	SNI 03-1729-2002	Layak	
4.	Kuda-kuda						
	Tegangan tarik	$0,572 \times 10^6$	$4,485 \times 10^6$	kg/m <sup>2</sup>	SNI 07-7178-2006	Layak	
5.	Dinding						
a.	Dinding Tembok						
	Tegangan tarik	$0,013 \times 10^5$	$1,000 \times 10^5$	kg/m <sup>2</sup>	Allen (2005)	Layak	
	Lendutan	$0,032 \times 10^{-2}$	$213,9 \times 10^{-2}$	mm	Allen (2005)	Layak	
b.	Dinding Plastik UV						
	Tegangan tarik	$0,028 \times 10^5$	$7,000 \times 10^5$	kg/m <sup>2</sup>	ASTM D790	Layak	
	Lendutan	$0,032 \times 10^{-2}$	$614,6 \times 10^{-2}$	kg/m <sup>2</sup>	ASTM D790	Layak	
6.	Kolom						
	a.	Tegangan tekan	$0,294 \times 10^7$	$1,600 \times 10^7$	kg/m <sup>2</sup>	SNI 07-7178-2006	Layak
		Kolom sisi luar					
		Tegangan lentur	$0,104 \times 10^7$	$4,383 \times 10^7$	kg/m <sup>2</sup>	SNI 07-7178-2006	Layak
		Tegangan geser	$0,024 \times 10^7$	$1,100 \times 10^7$	kg/m <sup>2</sup>	Gere dan Goodno (2009)	Layak
	b.	Kolom sekat dalam					
		Tegangan lentur	$4,271 \times 10^7$	$4,383 \times 10^7$	kg/m <sup>2</sup>	SNI 07-7178-2006	Layak
		Tegangan geser	$0,097 \times 10^7$	$1,100 \times 10^7$	kg/m <sup>2</sup>	Gere dan Goodno (2009)	Layak
	c.	Kolom penopang atap monitor					
Tegangan lentur		$3,595 \times 10^7$	$4,383 \times 10^7$	kg/m <sup>2</sup>	SNI 07-7178-2006	Layak	
	Tegangan geser	$0,089 \times 10^7$	$1,100 \times 10^7$	kg/m <sup>2</sup>	Gere dan Goodno (2009)	Layak	
7.	Pondasi						
	Tegangan tekan	$1,439 \times 10^4$	$2,012 \times 10^4$	kg/m <sup>2</sup>	Data primer	Layak	
	Tegangan geser	$7,202 \times 10^0$	$3667 \times 10^0$	kg/m <sup>2</sup>	Geoteknik (2002)	Layak	
	Luas penampang minimum	$0,250 \times 10^0$	$0,006 \times 10^0$	m <sup>2</sup>		Layak	

(Sumber: Hasil perhitungan )

Hasil analisis kelayakan bangunan yang dilakukan pada bangunan *greenhouse* penelitian di Kebun Percobaan dan Rumah Kaca Fakultas Pertanian, Universitas Padjadjaran (Rumah Kaca D, E, dan F) menunjukkan evaluasi struktur memiliki nilai yang masih memenuhi batas toleransi

ketahanan sifat mekanik dan fisik bahan. Ketahanan dan kekakuan bangunan dalam menopang keseluruhan pembebanan yang terjadi pada bangunan berdasarkan PPIUG Tahun 1983 ini menunjukkan bahwa bangunan berada dalam kondisi layak dan aman.



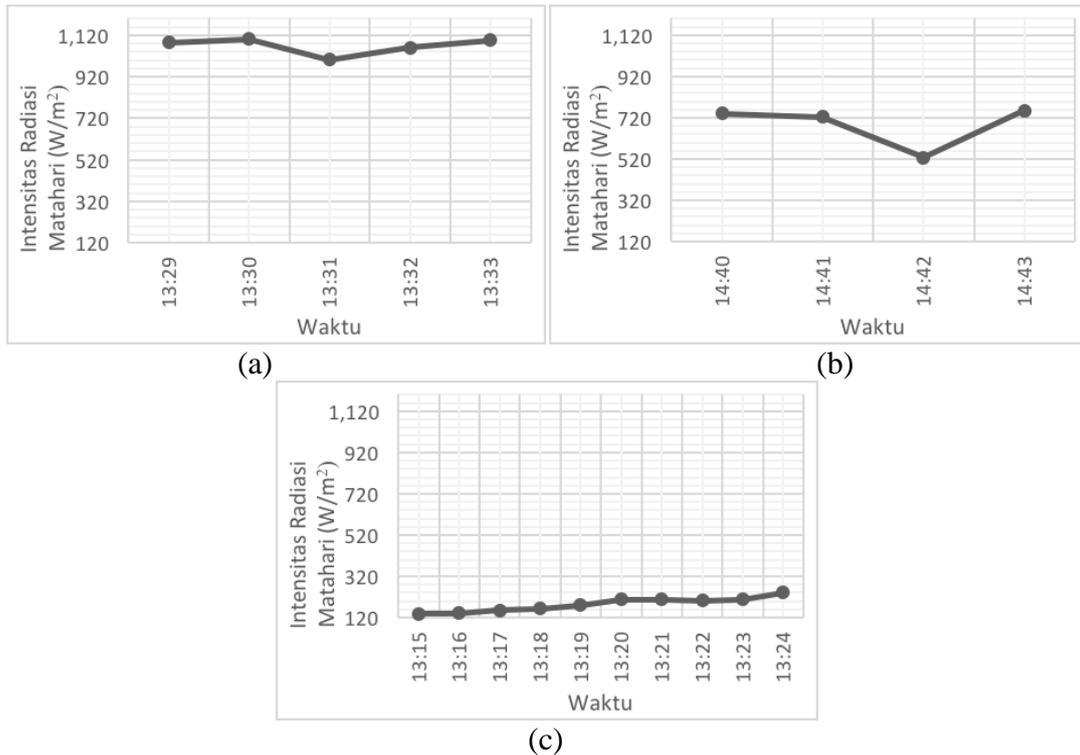
Gambar 1. Bangunan *Greenhouse* Penelitian (a) Tampak Depan; (b)Tampak Samping

#### **Analisis Fungsional Bangunan *Greenhouse***

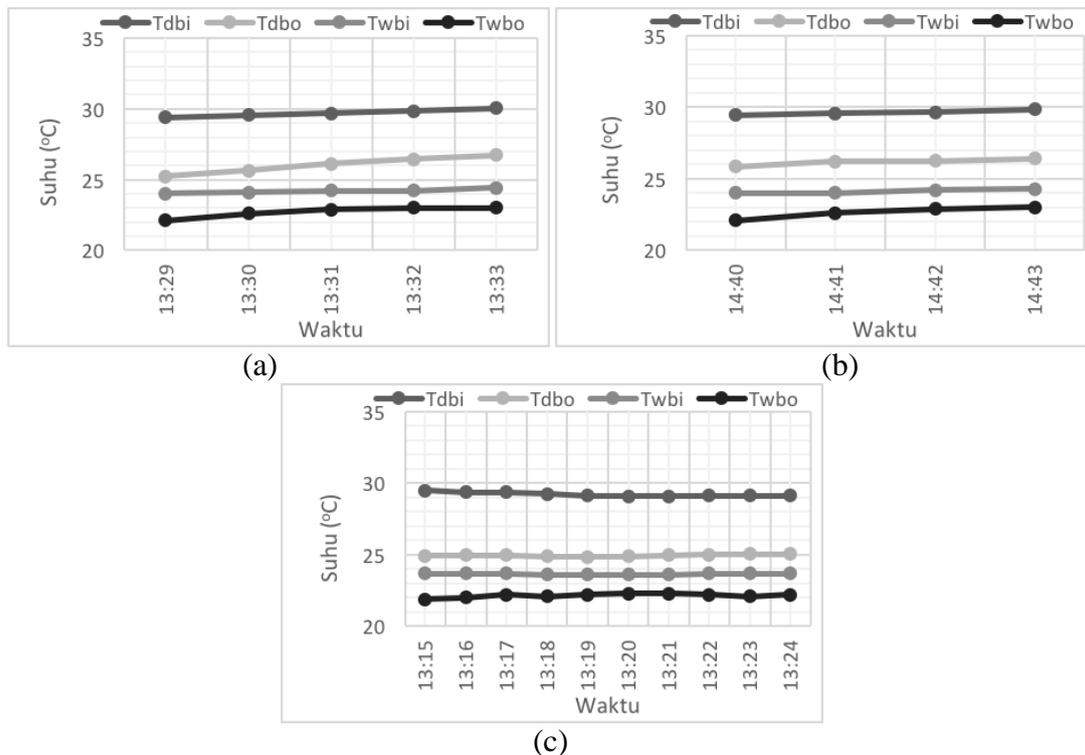
Analisis fungsional bangunan *greenhouse* dilakukan untuk mengetahui kondisi iklim mikro dalam menunjang bangunan menjalankan fungsinya secara optimal. Kesesuaian kondisi iklim di dalam bangunan dapat berpengaruh terhadap pertumbuhan dan produktivitas tanaman (Koesmaryono et al., 1997).

Pengambilan data iklim ini dilakukan untuk mengetahui keadaan profil iklim mikro yang sebenarnya pada bangunan dalam menjalankan fungsinya secara alami.

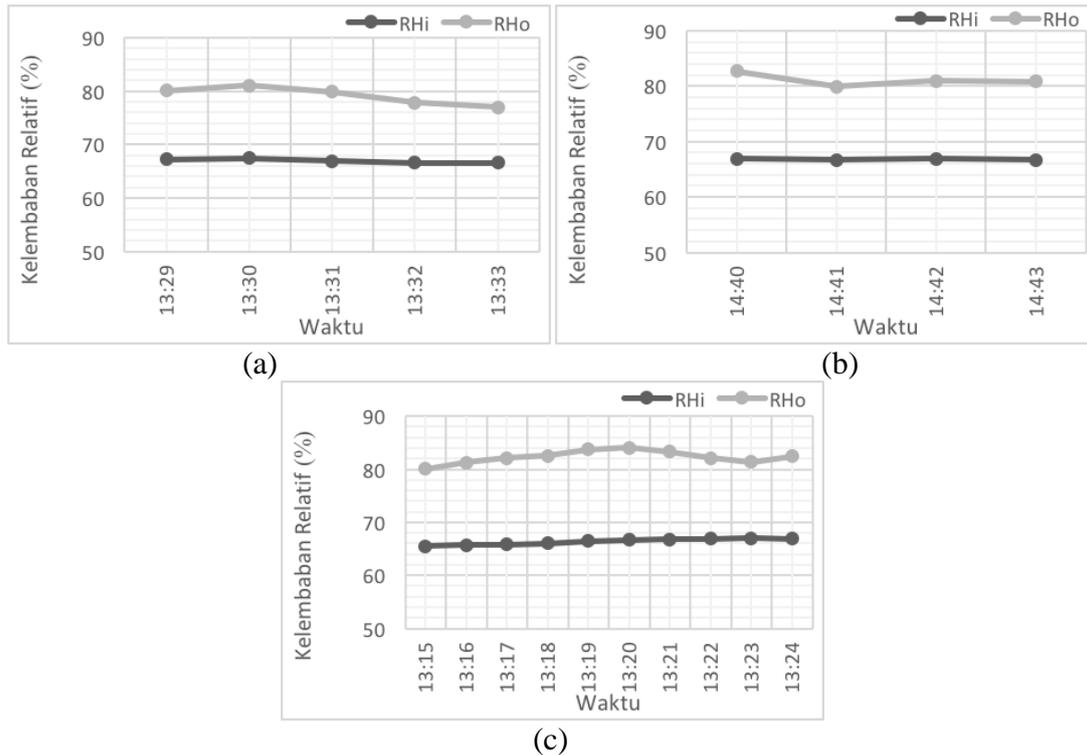
Pengamatan dilakukan di dalam dan di luar bangunan selama 24 jam dengan parameter iklim yang diukur berupa radiasi matahari, suhu bola kering, kelembaban relatif, dan kecepatan angin. Data hasil pengamatan yang didapatkan kemudian dikelompokkan ke dalam 3 kondisi berbeda, yaitu pada kondisi intensitas radiasi matahari ( $S_o$ ) di atas  $800 \text{ W/m}^2$ , di antara  $400\text{-}800 \text{ W/m}^2$ , dan di bawah  $400 \text{ W/m}^2$ . Profil iklim mikro yang terjadi pada penelitian dilakukan terdapat pada Gambar 2, Gambar 3, Gambar 4, Gambar 5, dan Gambar 6.



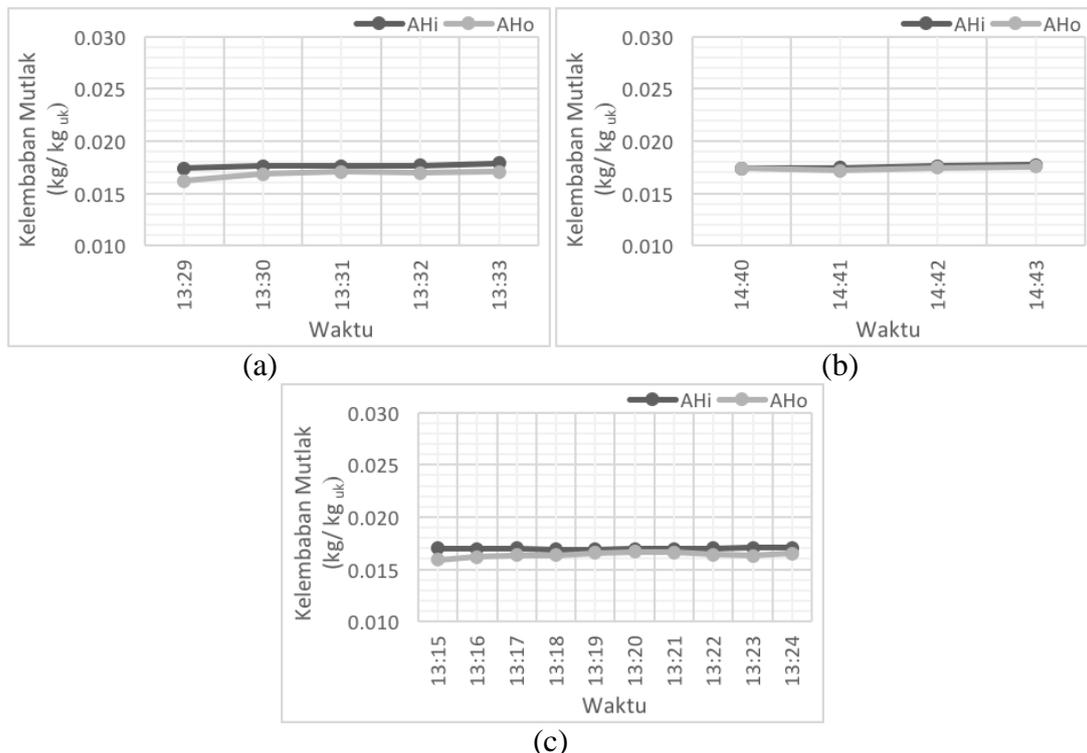
Gambar 2. Profil Iklim Mikro Hubungan Intensitas Radiasi Matahari terhadap Waktu pada 3 Kondisi (a)  $S_o > 800 \text{ W/m}^2$ ; (b)  $S_o 400-800 \text{ W/m}^2$ ; (c)  $S_o < 400 \text{ W/m}^2$



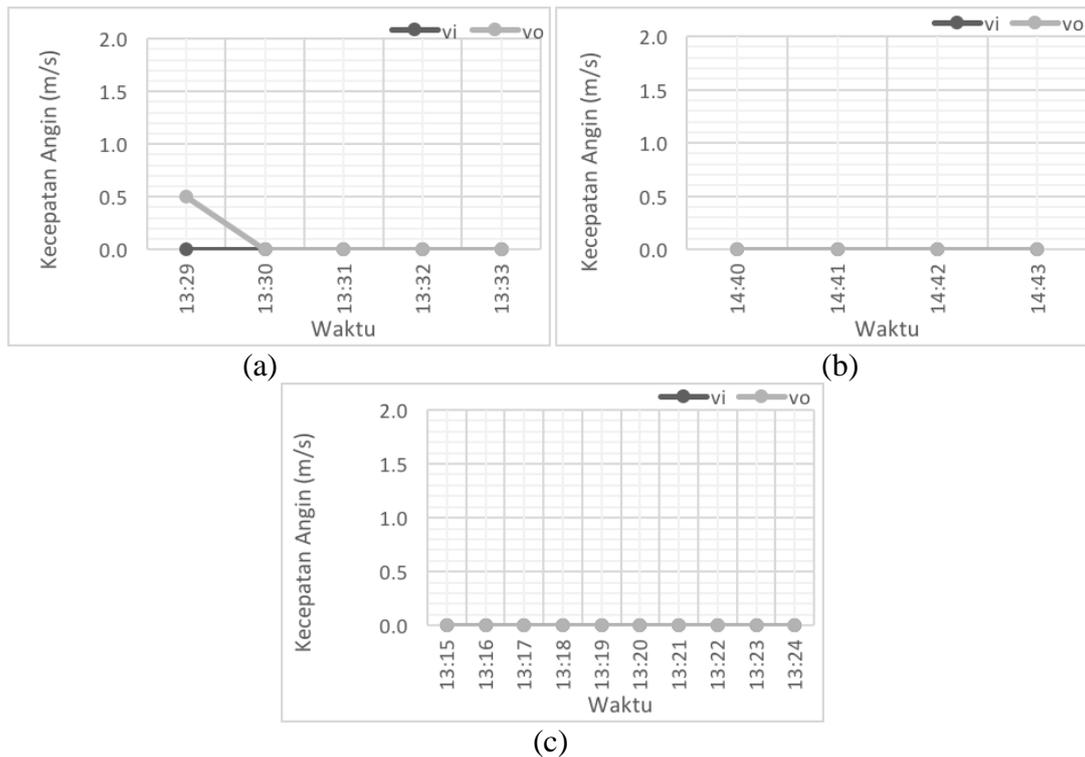
Gambar 3. Profil Iklim Mikro Hubungan Suhu Udara terhadap Waktu pada 3 Kondisi (a)  $S_o > 800 \text{ W/m}^2$ ; (b)  $S_o 400-800 \text{ W/m}^2$ ; (c)  $S_o < 400 \text{ W/m}^2$



Gambar 4. Profil Iklim Mikro Hubungan Kelembaban Relatif Udara terhadap Waktu pada 3 Kondisi (a)  $S_o > 800 \text{ W/m}^2$ ; (b)  $S_o 400-800 \text{ W/m}^2$ ; (c)  $S_o < 400 \text{ W/m}^2$



Gambar 5. Profil Iklim Mikro Hubungan Kelembaban Mutlak Udara terhadap Waktu pada 3 Kondisi (a)  $S_o > 800 \text{ W/m}^2$ ; (b)  $S_o 400-800 \text{ W/m}^2$ ; (c)  $S_o < 400 \text{ W/m}^2$



Gambar 6. Profil Iklim Mikro Hubungan Kecepatan Angin terhadap Waktu pada 3 Kondisi (a)  $S_o > 800 \text{ W/m}^2$ ; (b)  $S_o 400\text{-}800 \text{ W/m}^2$ ; (c)  $S_o < 400 \text{ W/m}^2$

Secara keseluruhan dapat diketahui bahwa suhu di dalam bangunan relatif lebih tinggi dibandingkan dengan suhu di luar bangunan yang nilainya dipengaruhi oleh intensitas radiasi matahari. Peningkatan suhu yang terjadi ini disebabkan karena adanya kalor dari radiasi matahari yang masuk ke dalam bangunan melalui atap dan sebagian besarnya terjebak di dalam bangunan (*greenhouse effect*). Perbedaan suhu di dalam dan di luar bangunan rata-rata pada pagi hari dapat mencapai  $5 \text{ }^\circ\text{C}$ , pada siang hari sebesar  $3 \text{ }^\circ\text{C}$ , dan pada malam hari sebesar  $1 \text{ }^\circ\text{C}$ . Suhu pada kondisi  $S_o$  di atas  $800 \text{ W/m}^2$  memiliki nilai yang relatif lebih tinggi dibandingkan pada kondisi  $S_o 400\text{-}800 \text{ W/m}^2$  dan  $S_o$  di bawah  $400 \text{ W/m}^2$ .

Profil iklim mikro menunjukkan adanya hubungan antara intensitas radiasi matahari, suhu, dan kelembaban udara. Kelembaban relatif dan kelembaban mutlak udara berbanding terbalik dengan suhu dan  $S_o$ . Dapat diketahui jika RH di luar bangunan lebih tinggi dibandingkan dengan nilai RH di dalam bangunan karena suhu di

dalam bangunan lebih tinggi sehingga penguapan uap air di dalam bangunan berlangsung lebih cepat.

Angin dan arah angin juga memiliki pengaruh dalam proses perpindahan kalor di dalam bangunan. Namun dalam hal ini di dapatkan bahwa kecepatan angin yang mengenai bangunan relatif kecil yang nilai maksimalnya hanya sebesar  $1,01 \text{ m/s}$  dari arah Timur ke Barat. Meskipun arah aliran angin sama dengan bukaan ventilator kecepatan angin di dalam bangunan sangat kecil bahkan tidak ada.

Bangunan *greenhouse* penelitian digunakan untuk menciptakan kondisi yang optimal untuk tanaman tomat cherry. Pada saat penelitian dilakukan tanaman tomat cherry sudah memasuki usia 37 HST yang menunjukkan tanaman berada pada fase *crop development* menuju *mid season* (fase vegetatif). Suhu dan kelembaban relatif udara di dalam bangunan memegang peranan penting terhadap pertumbuhan dan produktivitas tanaman. Rincian kondisi iklim

mikro rata-rata di dalam *greenhouse* terdapat pada Tabel 2.

Tabel 2. Kondisi Iklim Mikro Rata-rata di Dalam *Greenhouse* berdasarkan Waktu Pengamatan

Waktu	S <sub>o</sub> (W/m <sup>2</sup> )	Dalam Greenhouse	
		T <sub>dbi</sub> (°C)	RH <sub>i</sub> (%)
Pagi	428	31	59
Siang	202	28	69
Malam	8	20	90
Rata-rata	315	28	73

(Sumber: Hasil penelitian)

Hasil pengamatan yang dilakukan menunjukkan bahwa nilai T<sub>dbi</sub> rata-rata sebesar 28 °C dengan suhu tertinggi terdapat pada pagi hari yaitu 31 °C dan suhu terendah 20 °C. Menurut Wiryanta (2002), suhu optimum untuk fase vegetatif pada tahapan pertumbuhan dan masa awal pembungaan tanaman tomat cherry adalah 25-30 °C pada siang hari dan 16-20 °C pada malam hari. Dapat disimpulkan bahwa kondisi iklim mikro untuk pertumbuhan dan perkembangan tanaman tomat cherry sudah cukup optimal untuk fase vegetatif meskipun masih terdapat kondisi suhu di atas kondisi optimal. Namun jika tanaman sudah memasuki fase generatif kondisi iklim mikro sudah tidak memenuhi syarat optimal untuk tanaman tomat cherry yang seharusnya suhu di dalam bangunan sebesar 24-28 °C dan 18-24 °C untuk tahapan pembentukan buah optimal.

Data hasil pengamatan yang dilakukan menunjukkan nilai RH<sub>i</sub> rata-rata tertinggi mencapai 90% yang terjadi pada malam hari. Sedangkan kondisi RH<sub>i</sub> pada pagi dan siang hari secara berurutan sebesar 59% dan 69%. Menurut Rubatzky and Yamaguchi (1999), syarat optimal kelembaban relatif udara untuk tomat cherry sebesar 80% dan tidak boleh melebihi 95%. Hal ini menunjukkan bahwa kondisi RH di dalam bangunan belum memenuhi syarat optimal yang dibutuhkan tanaman.

## KESIMPULAN

Penelitian mengenai kelayakan *greenhouse* dilakukan di Rumah Kaca D, Kebun Percobaan dan Rumah Kaca Fakultas Pertanian, Universitas Padjadjaran. Penentuan kelayakan *greenhouse* dilakukan berdasarkan kondisi struktur maupun fungsional bangunan.

Analisis struktur bangunan dilakukan berdasarkan pembebanan dan evaluasi yang terjadi pada struktur atap, kasau, gording, kuda-kuda, dinding, kolom, dan pondasi. Pembebanan yang terjadi pada atap menyebabkan adanya tegangan tarik sebesar  $1,880 \times 10^6 \text{ kg/m}^2$ . Pada kasau pembebanan yang terjadi menyebabkan adanya lendutan pada bahan yang dipasang ke arah horizontal maupun vertikal dengan nilai berkisar antara  $0,013-0,023 \times 10^{-4} \text{ mm}$ . Struktur gording dalam menopang beban mengalami tegangan lentur sebesar  $0,032 \times 10^7 \text{ kg/m}^2$  dan tegangan geser sebesar  $1,770 \times 10^5 \text{ kg/m}^2$ . Pembebanan menyebabkan terjadinya tegangan tarik pada struktu kuda-kuda, dinding tembok, dan dinding plastik dengan nilai secara berurutan sebesar  $0,572 \times 10^6 \text{ kg/m}^2$ ,  $0,013 \times 10^5 \text{ kg/m}^2$ , dan  $0,028 \times 10^5 \text{ kg/m}^2$ . Sedangkan pada struktur kolom evaluasi dilakukan pada 3 kondisi pembebanan dengan nilai tegangan tekan sebesar  $0,294 \times 10^7 \text{ kg/m}^2$ , tegangan lentur berkisar antara  $0,104-3,595 \times 10^7 \text{ kg/m}^2$ , dan tegangan geser berkisar antara  $0,024-0,097 \times 10^7 \text{ kg/m}^2$ . Keseluruhan pembebanan pada bangunan kemudian disalurkan menuju pondasi yang menyebabkan terjadinya tegangan tekan sebesar  $1,439 \times 10^4 \text{ kg/m}^2$  dan tegangan geser sebesar  $7,202 \text{ kg/m}^2$ . Hasil evaluasi bahan pada setiap struktur bangunan akibat pembebanan menunjukkan nilai tegangan dan lendutan yang terjadi pada keseluruhan konstruksi bangunan telah memenuhi persyaratan teknis berdasarkan SNI 1727:2013 mengenai ketahanan bangunan. Hal ini menunjukkan bahwa struktur bangunan pada *greenhouse* penelitian dapat dikatakan layak karena sudah memenuhi kebutuhan bangunan berdasarkan sifat mekanik bahan dalam

mempertahanan kekuatan dan kekakuan bangunan dari pembebanan yang terjadi.

Analisis fungsional bangunan menunjukkan kondisi iklim mikro di dalam bangunan berada pada suhu ( $T_{dbi}$ ) siang hari rata-rata berkisar antara 28-31 °C dengan kondisi kelembaban relatif udara ( $RH_i$ ) rata-rata sebesar 59-69%. Kondisi suhu pada *greenhouse* penelitian ini cukup memenuhi kondisi optimal pada fase vegetatif, namun kondisi RH masih berada di bawah kondisi optimal tanaman tomat cherry. Hal ini menunjukkan bahwa perlu dilakukannya modifikasi iklim mikro untuk fase generatif atau melakukan penggantian jenis tanaman agar *greenhouse* dapat menjalankan fungsinya dengan lebih optimal.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Alahudin, M., A. Topan, Wahida, D. D. Sarkol dan Didik. 2013. Evaluasi Kondisi Termal Bangunan Greenhouse dengan Material Atap Polycarbonat. *Jurnal Pertanian*, 3(1):26-42.
- Alahudin, M. 2013. Kondisi Termal Bangunan Greenhouse dan Screenhouse pada Fakultas Pertanian Universitas Musamus Mekauke. *Jurnal Ilmiah Mustek Anim Ha*, 2 (1):16-27.
- Allen, E. 2005. *Dasar-Dasar Konstruksi Bangunan Jilid I*. Erlangga. Jakarta.
- Arce, O. A. 1993. *Fundamentals of The Design of Bamboo Structures*. Tesis. Eindhoven University. Den Haag.
- Asroni, A. 2010. Kolom Fondasi dan Balok T Beton Bertulang. Graha Ilmu. Yogyakarta.
- ASTM D 790 – 02. 2001. *Standard test methods for flexural properties of unreinforced and reinforced plastics and electrical insulating material*. PA: American Society for Testing and Materials. Philadelphia.
- Badan dan Standarisasi Nasional. 1987. *Standar Nasional Indonesia (SNI) 07-0138-1987 Baja Kanal C Ringan*. Dewan Standarisasi Indonesia. Jakarta.
- Badan dan Standarisasi Nasional. 2002. *Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-1729-2002 Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung*. Dewan Standarisasi Indonesia. Jakarta.
- Badan dan Standarisasi Nasional. 2006. *Standar Nasional Indonesia (SNI) 07-7178-2006 Baja Profil WF – Beam Proses Canai Panas (Bj WF-Beam)*. Dewan Standarisasi Indonesia. Jakarta.
- Badan dan Standarisasi Nasional. 2013. *Standar Nasional Indonesia (SNI) 1727:2013 Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain*. Dewan Standarisasi Indonesia. Jakarta.
- Belis, J., C. Louter. and D. Mocibob. 2013. *Cost Action TU0905 Mid-term Conference on Structure Glass*. CRC Press. Boca Raton.
- Frick, H. 1980. *Konstruksi Bangunan I*. Kanisius. Yogyakarta.
- Gunawan, R. 1983. *Pengantar Teknik Fondasi*. Kanisius. Yogyakarta.
- Hanan, J. J., D. Holley and L. K. Goldsberry. 1978. *Greenhouse Management*. Springer-Verlag. Berlin Heidelberg, New York.
- Handarto, M. Hayasi, K. Ohyama, H. Toida, E. Goto and T. Kozai. 2006. Developing Control Logic for a High-Pressure Fog Cooling System Operation for a Naturally Ventilated Greenhouse: *Environ. Control in Biol.*, Vol.45 No. 1, pp. 47- 58.
- Hariadi, T. K. 2007. Sistem Pengendali Suhu, Kelembaban, dan Cahaya dalam Rumah Kaca. *Jurnal Ilmiah Semesta Teknik*, 10 (1):82-93.
- Hasan, R. 2016. Analisis Laju Ventilasi Alami di Rumah Kaca Berventilasi Alami yang Dilengkapi dengan Fog Cooling System. Skripsi. Fakultas Teknologi Industri Pertanian, Universitas Padjadjaran. Jatinangor.
- Inayah, A. N. 2007. *Analisa Lingkungan dalam Bangunan Greenhouse Tipe Tunnel yang Telah Dimodifikasi di PT. Alam Indah Bunga Nusantara, Cipanas,*

- Cianjur*. Skripsi. Fakultas Teknologi Pertanian. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Koesmaryono, Y., H. Sugimoto, D. Ito, T. Sato and T. Haseba. 1997. The Influence of Different Climatic Conditions on The Yield of Soybeans Cultivated Under Different Population Densities. *J. Agric. Meteorology*, 52 (5):717-720.
- Kwantes, J. 1984. *Mekanika Bangunan Jilid 1*. Erlangga. Jakarta.
- Kwantes, J. 1985. *Mekanika Bangunan Jilid 2*. Erlangga. Jakarta.
- Morib, M. A. 2012. Kelayakan Bangunan Rumah Tinggal Sederhana (Setengah Bata) Terhadap Kerusakan Akibat Gempa. *Majalah Ilmiah UKRIM*, Edisi 1/ th XVII/2012, 67-74.
- Nelson, G. L., B. Manbeck and N. F. Meador. 1988. *Light Agricultural and Industrial Structures*. Van Nostrand Reinhold Company. New York.
- Soemarto, C. D. 1999. *Hidrologi Teknik*. Erlangga. Jakarta.
- Widyastuti, Y. E. 1993. *Greenhouse: Rumah untuk Tanaman*. PT. Penebar Swadaya. Jakarta.
- Wiryanta, B. T. W. 2002. *Bertanam Tomat*. AgroMedia Pustaka. Jakarta.