

## Bab III

# Pemodelan Suhu Udara di Dalam Rumah Tanaman

Bangunan rumah tanaman berinteraksi dengan kondisi lingkungan termal di sekitar rumah tanaman menghasilkan lingkungan termal yang unik di dalam rumah tanaman. Komponen-komponen yang penting dari interaksi tersebut dapat digambarkan secara sederhana dalam sebuah model sehingga hubungan sebab akibat komponen penyusun tersebut dapat dijelaskan dengan baik. Perancangan rumah tanaman dapat dilakukan dengan mudah jika model pindah panas pada rumah tanaman telah dibangun. Model pindah panas tersebut menerangkan hubungan antara elemen rancangan dengan lingkungan termal pertumbuhan tanaman di dalam rumah tanaman. Dengan model pindah panas tersebut, pengaruh elemen rancangan seperti dimensi, posisi dan sudut bukaan ventilasi, serta jumlah span terhadap laju ventilasi dapat dipelajari. Selanjutnya, model tersebut dapat menjadi dasar simulasi menggunakan komputer untuk memprediksi lingkungan termal di dalam rumah tanaman.

Model pindah panas untuk rumah tanaman harus memenuhi beberapa kriteria. Pertama, model dapat memprediksi proses fisik dan fisiologi yang diketahui terjadi di dalam sistem dengan ketepatan yang tinggi dan dapat dibuktikan dengan percobaan.

Kedua, model simulasi bersifat umum dan cukup fleksibel untuk diaplikasikan pada sistem tertentu yang memiliki kondisi lingkungan termal yang beragam. Untuk memenuhi kriteria tersebut, parameter lingkungan termal yang digunakan adalah kondisi batas utama yang mudah diukur dan tidak dipengaruhi oleh keberadaan sistem. Selain itu, sistem perlu didefinisikan secara jelas dengan sifat fisik dan fisiologis yang mudah diukur dengan metode yang tersedia.

### **3.1. Pemodelan Pindah Panas**

Model pindah panas pada rumah tanaman telah banyak dikembangkan untuk kawasan yang beriklim subtropika, yaitu antara lain oleh Takakura *et al.* (1971), Bot (1983), Takakura (1989) dan Jolliet (1991). Pada model-model pindah panas tersebut, komponen pemanasan dengan menggunakan berbagai alat pemanas di dalam rumah tanaman selalu dimasukkan. Model pindah panas tersebut memang dikembangkan untuk rumah tanaman pada musim dingin di kawasan yang beriklim subtropika.

Sebaliknya, model pindah panas yang telah dikembangkan untuk rumah tanaman di kawasan yang beriklim subtropika pada musim panas masih sangat sedikit. Diantara model tersebut terdapat model pindah panas yang dikembangkan oleh Suhardiyanto dan Matsuoka (1992) untuk mengevaluasi kondisi lingkungan pada musim panas dalam rumah tanaman yang dilengkapi dengan *zone cooling system*.

Model pindah panas pada rumah tanaman untuk kawasan yang beriklim tropika, tentu saja tidak perlu meliputi komponen

pemanas. Sebaliknya, hal yang penting untuk kondisi iklim tropika, seperti sudut datang radiasi matahari dan komponen ventilasi alamiah justru sangat perlu diperhitungkan. Model pindah panas untuk rumah tanaman di kawasan yang beriklim tropika mulai dikembangkan diantaranya oleh Kamaruddin (1999), Harmanto (2006), Suhardiyanto *et al.* (2007a), dan Impron *et al.* (2007).

### 3.1.1. *Steady State Model*

Untuk kemudahan dalam pengembangan model pindah panas, proses pindah panas di dalam rumah tanaman dapat diasumsikan berada dalam kondisi *steady state* atau tunak. Dalam hal ini diasumsikan bahwa suhu tidak berubah dan di titik manapun kecepatan fluks panas yang masuk tepat sama dengan kecepatan fluks panas yang keluar serta tidak terjadi perubahan energi dalam. Suhardiyanto dan Matsuoka (1992) menggunakan persamaan pindah panas *steady state* untuk mengevaluasi suhu udara di dalam rumah tanaman yang dilengkapi dengan *zone cooling system*. Keseimbangan panas pada rumah tanaman dinyatakan dalam bentuk fluks panas per  $m^2$  lantai. Keseimbangan panas tersebut dinyatakan dengan Persamaan (3.1).

$$q_s + q_a + q_f + q_c = 0 \quad (3.1)$$

dimana,  $q_s$  adalah panas yang ditimbulkan oleh radiasi matahari ( $W/m^2$ ),  $q_a$  adalah panas yang disebabkan oleh pertukaran udara dari dan keluar rumah tanaman ( $W/m^2$ ),  $q_f$  adalah panas yang dipindahkan dari atau ke dalam tanah ( $W/m^2$ ),  $q_c$  adalah panas yang dipindahkan melalui bahan atap rumah tanaman ( $W/m^2$ ).

$$q_s = \tau_c \alpha_f I_o \quad (3.2)$$

dimana,  $\tau_c$  adalah transmisivitas bahan atap rumah tanaman,  $\alpha_f$  adalah absorptivitas permukaan tanah terhadap radiasi matahari, dan  $I_o$  adalah radiasi matahari pada permukaan datar di luar rumah tanaman ( $W/m^2$ ). Radiasi matahari pada permukaan datar di dalam rumah tanaman adalah  $I_d = \tau_c \times I_o$ , sehingga Persamaan (3.2) menjadi:

$$q_s = \alpha_f I_d \quad (3.3)$$

Absorptivitas permukaan tanah terhadap radiasi matahari ( $\alpha_f$ ) diperoleh dari analisis regresi linear dari data pengukuran  $I_d$  dan  $R_n$ , berdasarkan persamaan-persamaan berikut:

$$R_n = (1 - \rho_f) I_d + L_d - L_u \quad (3.4)$$

$$\alpha_f = (1 - \rho_f) \quad (3.5)$$

dimana,  $R_n$  adalah radiasi netto (radiasi matahari dan radiasi gelombang panjang) di dalam rumah tanaman ( $W/m^2$ ),  $\rho_f$  adalah reflektivitas permukaan tanah terhadap radiasi matahari,  $I_d$  adalah radiasi matahari pada permukaan datar di dalam rumah tanaman ( $W/m^2$ ),  $L_d$  dan  $L_u$  adalah radiasi gelombang panjang yang masuk dan keluar dari rumah tanaman ( $W/m^2$ ).

Panas yang dipindahkan oleh aliran udara dingin yang dimasukkan ke rumah tanaman dan udara panas yang keluar dari rumah tanaman ( $q_a$ ) dihitung dengan Persamaan (3.6).

$$q_a = \dot{m}(h_1 - h_2) / A_f \quad (3.6)$$

dimana,  $\dot{m}$  adalah laju massa udara yang melalui rumah tanaman

(kg/s),  $h_1$  adalah entalpi udara dingin yang dimasukkan ke rumah tanaman (J/kg),  $h_2$  adalah entalpi udara yang keluar dari rumah tanaman (J/kg),  $A_f$  adalah luas permukaan tanah *di* dalam rumah tanaman (m<sup>2</sup>).

Panas yang ditransmisikan dari dan ke tanah ( $q_f$ ) dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$q_f = kT_g \quad (3.7)$$

dimana,  $k$  adalah konduktivitas panas tanah dalam rumah tanaman (W/m °C), dan  $T_g$  adalah gradien suhu di lapisan permukaan tanah (°C/m). Setelah nilai  $q_s$ ,  $q_e$ ,  $q_f$  diperoleh dari Persamaan (3.2) sampai (3.7) maka nilai  $q_o$  dapat dihitung dengan Persamaan (3.1).

### 3.1.2. *Unsteady State Model*

Asumsi bahwa suhu udara adalah tetap dalam rentang analisis perpindahan panas tertentu tidak selalu akurat. Hal ini karena pada rumah tanaman tertentu sesungguhnya terjadi perubahan suhu sepanjang waktu. Oleh karena itu, untuk membangun model pindah panas pada rumah tanaman secara lebih akurat, perubahan suhu pada setiap satuan waktu perlu diperhitungkan. Model pindah panas seperti ini disebut *unsteady state model*.

Banyak peneliti telah mengembangkan model pindah panas untuk rumah tanaman di kawasan yang beriklim subtropika, tetapi sangat sedikit peneliti yang mengembangkan model pindah untuk kawasan tropika. Suhardiyanto *et al.* (2007a) telah

mengembangkan model pindah panas pada rumah tanaman di kawasan yang beriklim tropika yang memperhitungkan perubahan suhu ( $dT/dt$ ) dan sudut datang radiasi matahari pada atap rumah tanaman. Ternyata, kinerja model pindah panas dalam memprediksi suhu udara dalam rumah tanaman lebih baik jika model tersebut memperhitungkan sudut zenith, azimuth, deklinasi matahari, orientasi bangunan, dan sifat optik atap dibandingkan dengan model tanpa parameter-parameter tersebut.

Besarnya radiasi matahari yang diterima oleh bidang horisontal di suatu lokasi pada tanggal tertentu dari sistem kalender berbasis matahari dipengaruhi oleh kedudukan lokasi tersebut menurut garis lintang dan bujur, serta posisi matahari. Posisi matahari menentukan sudut datang tersebut dan besarnya radiasi matahari yang diterima oleh suatu bidang horisontal di permukaan bumi. Prediksi besarnya radiasi matahari yang masuk ke dalam rumah tanaman dapat dilakukan secara lebih teliti dengan mempertimbangkan arah kemiringan atap dan sudut datang radiasi matahari pada atap tersebut. Sudut datang radiasi matahari pada permukaan atap rumah tanaman tergantung kepada parameter-parameter tersebut serta arah dan kemiringan atap tersebut. Posisi matahari  $\alpha$  di suatu tempat dengan *latitude*  $\phi$  tertentu dapat diketahui dengan persamaan:

$$\sin \alpha = \cos \phi \cos \delta \cos h + \sin \phi \sin \delta \quad (3.8)$$

dimana  $\delta$  adalah deklinasi matahari dalam derajat dan  $h$  merupakan sudut jam matahari. Deklinasi matahari merupakan sudut yang dibentuk oleh matahari dengan bidang equator pada setiap saat.

Deklinasi matahari dapat diperkirakan dengan Persamaan Jansen sebagai berikut :

$$\delta = 23.45 \times \sin\left(360 \times \frac{284 + n}{365}\right) \quad (3.9)$$

dimana  $n$  adalah hari menurut Julian Day dari tahun yang bersangkutan. Besarnya sudut jam matahari adalah  $15^\circ$  per jam, negatif pada pagi hari, sama dengan nol pada tengah hari dan positif pada sore hari. Sudut jam matahari untuk wilayah Indonesia bagian barat dengan lokasi pada *longitude*  $LGT$  adalah:

$$h = \left[ (WIB - 12) + \left( \frac{LGT - 105}{15} + EQT \right) \right] \times 15 \quad (3.10)$$

dimana  $EQT$  merupakan persamaan waktu yang besarnya dapat dihitung dengan Persamaan Caruthers sebagai berikut :

$$\begin{aligned} EQT = & 5.0323 - 100.976 \sin(t) + 595.27 \sin(2t) \\ & + 3.6858 \sin(3t) - 12.47 \sin(4t) - 430.847 \cos(t) \\ & + 12.5024 \cos(2t) + 18.25 \cos(3t) \end{aligned} \quad (3.11)$$

$$\text{dimana } t = (279.134 + 0.985647 n)$$

Sudut datang radiasi matahari dapat dihitung dari nilai kosinusnya (Esmay dan Dixon, 1983). Nilai kosinus sudut datang radiasi matahari pada sebuah atap bangunan dapat diperkirakan dengan Persamaan (3.14) untuk atap yang berorientasi utara-selatan dan Persamaan (3.15) untuk atap yang berorientasi timur-barat. Di kawasan tropika seperti Indonesia, rumah tanaman dapat memiliki

orientasi utara-selatan ataupun timur-barat, karena perbedaan radiasi matahari yang masuk ke dalam rumah tanaman akibat perbedaan orientasi rumah tanaman di kawasan tropika tidak besar. Namun demikian, agar model yang dibangun mempunyai akurasi yang lebih tinggi maka radiasi matahari yang masuk ke dalam rumah tanaman perlu diperhitungkan secara akurat. Sudut datang radiasi matahari pada atap rumah tanaman perlu diperhitungkan dalam memperoleh angka radiasi matahari tersebut.

Gambar 3.1 memperlihatkan skema sudut datang radiasi matahari arah utara ( $K_U$ ) dan selatan ( $K_S$ ) pada atap dari sebuah bangunan dengan arah bubungan timur-barat. Dari Gambar 3.1 dapat dicari nilai  $K$  untuk bangunan yang berorientasi timur-barat di belahan bumi selatan dengan membalikkan arah utara menjadi selatan dan arah selatan menjadi utara (Esmay dan Dixon, 1983). Untuk atap yang menghadap utara dengan sudut kemiringan terhadap horizontal nilai  $K$  adalah:

$$K_U = \cos(90^\circ - \beta - \alpha) \quad (3.12)$$

Dan nilai  $K$  untuk atap yang menghadap selatan adalah:

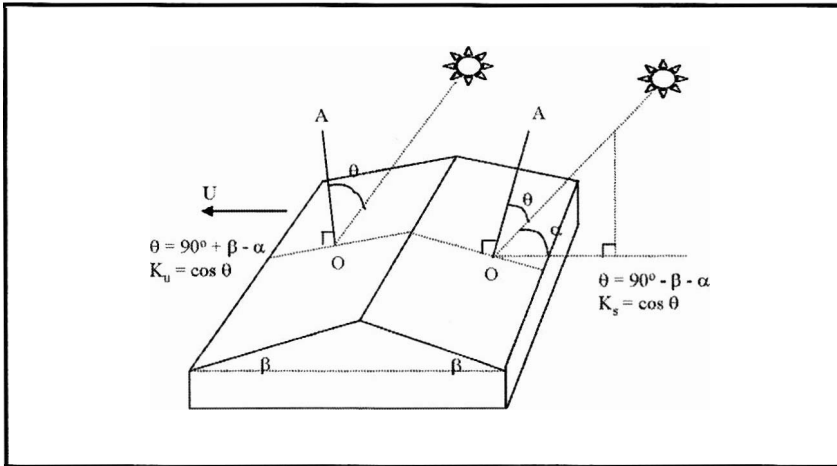
$$K_S = \cos(90^\circ + \beta - \alpha) \quad (3.13)$$

Kosinus sudut datang radiasi matahari untuk atap rumah tanaman tipe *standard peak* adalah merupakan angka rata-rata dari  $K_U$  dan  $K_S$ .

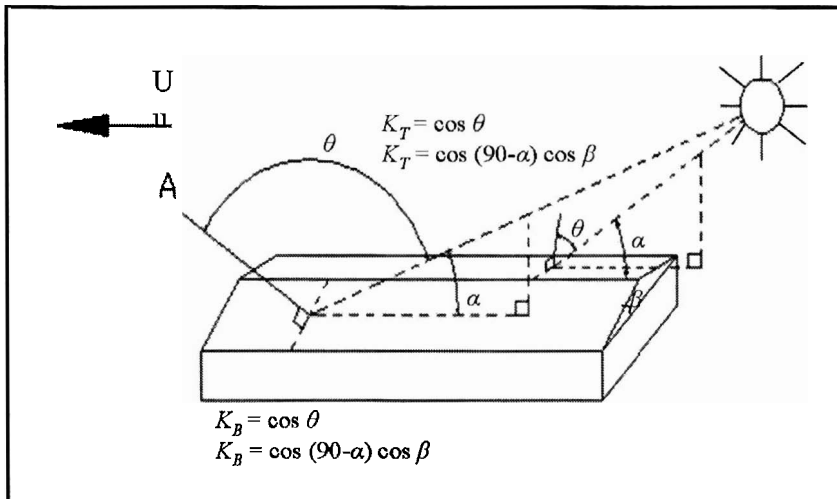
Nilai  $K$  untuk penutup *standard peak greenhouse*

$$K = \frac{(K_U + K_S)}{2} \quad (3.14)$$





Gambar 3.1. Skema sudut datang radiasi matahari arah utara ( $K_u$ ) dan selatan ( $K_s$ ) pada atap dari sebuah bangunan dengan arah bubungan timur-barat (Esmay dan Dixon, 1983).



Gambar 3.2. Skema sudut datang radiasi matahari arah timur ( $K_T$ ) dan barat ( $K_B$ ) pada atap dari sebuah bangunan dengan arah bubungan utara-selatan (Esmay dan Dixon, 1983).

Gambar 3.2 memperlihatkan skema kosinus sudut datang radiasi matahari arah timur ( $K_T$ ) dan barat ( $K_B$ ) pada atap dari sebuah bangunan dengan arah bubungan utara-selatan. Nilai kosinus sudut datang radiasi matahari untuk atap yang menghadap timur dan barat dapat dihitung dengan Persamaan (3.15).

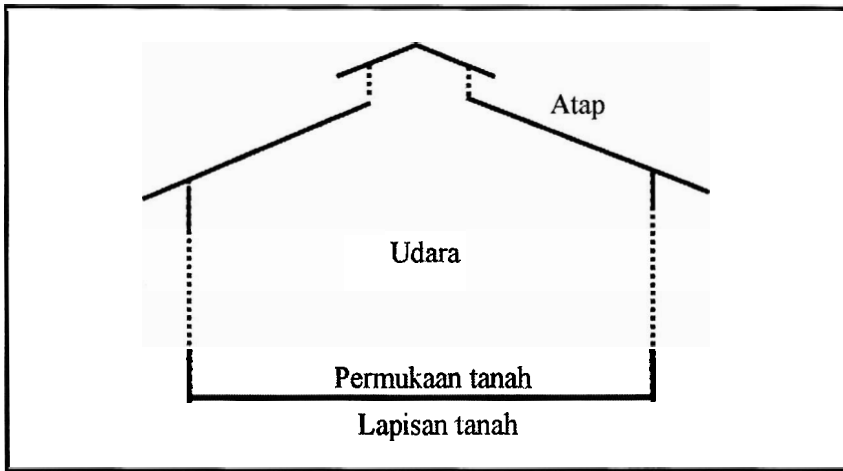
$$K_T = K_B = \cos(90 - \alpha) \cos \beta \quad (3.15)$$

Dimana  $K_T$  adalah kosinus sudut datang radiasi matahari untuk atap yang menghadap timur,  $K_B$  adalah kosinus sudut datang radiasi matahari untuk atap yang menghadap barat, dan  $\alpha$  adalah sudut kemiringan atap ( $^\circ$ ).

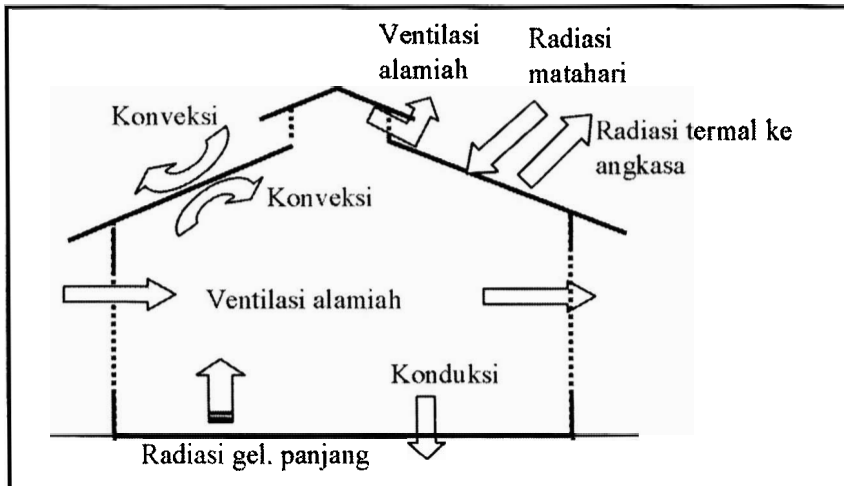
$$K = \frac{(K_T + K_B)}{2} \quad (3.16)$$

dimana  $K$  adalah kosinus sudut datang radiasi matahari pada atap rumah tanaman tipe *standard peak*.

Perpindahan panas pada rumah tanaman merupakan proses yang rumit sehingga tidak mudah untuk membangun sebuah model pindah panas yang meliputi seluruh peristiwa pindah panas tersebut. Untuk menyederhanakan model pindah panas maka sistem pindah panas pada rumah tanaman dibagi menjadi empat lapisan subsistem secara vertikal, yaitu; atap rumah tanaman, udara di dalam rumah tanaman, permukaan lantai, dan lapisan tanah di dalam rumah tanaman (Gambar 3.3). Proses-proses perpindahan panas yang terjadi dan diperhitungkan dalam model pindah panas pada penelitian ini disajikan dalam Gambar 3.4. Model pindah panas untuk rumah tanaman di kawasan yang beriklim tropika yang dikembangkan oleh Suhardiyanto *et al.* (2007a) tersebut



Gambar 3.3. Empat subsistem rumah tanaman sebagai tempat berlangsungnya proses perpindahan panas pembentuk sebuah model pindah panas.



Gambar 3.4. Proses perpindahan panas pada empat subsistem rumah tanaman (Suhardiyanto *et al.*, 2007a).

menggunakan asumsi-asumsi sebagai berikut :

1. Sistem dapat dibagi kedalam 4 elemen subsistem vertikal, yaitu; atap rumah tanaman, udara dalam rumah tanaman, permukaan lantai, dan lapisan tanah dalam rumah tanaman.
2. Semua elemen vertikal rumah tanaman tersebut homogen secara horizontal dan vertikal kecuali lapisan tanah yang dibagi menjadi dua sub elemen yang homogen secara horizontal.
3. Massa udara dalam rumah tanaman tidak diperhitungkan.
4. Kondisi batas lingkungan termal sistem rumah tanaman adalah suhu udara luar, kecepatan angin, radiasi matahari, dan suhu lapisan tanah yang dapat ditetapkan.
5. Koefisien pindah panas konveksi pada permukaan lantai ( $h_f$ ) dan koefisien pindah panas konveksi karena pengaruh aliran udara melalui ventilasi ( $h_v$ ) tidak berubah selama simulasi.
6. Aliran udara dalam rumah tanaman terjadi dengan seragam dan dalam arah horizontal.
7. Transmisivitas, absorptivitas, dan reflektivitas atap rumah tanaman dianggap tidak berubah dengan perubahan sudut datang radiasi matahari.

Selanjutnya, Suhardiyanto *et al.* (2007a) menganalisis perpindahan panas yang terjadi pada keempat elemen dalam sistem pindah panas untuk rumah tanaman tersebut. Keseimbangan panas pada rumah tanaman diterangkan dengan keseimbangan panas pada elemen-elemen tersebut. Persamaan keseimbangan panas pada setiap elemen per satuan luas lantai adalah sebagai berikut :

1. Keseimbangan panas pada atap rumah tanaman

$$c_c \times w \times dT_c / dt = ((I_o \times \alpha_s \times K) + \sigma \times \alpha_l \times ((T_c + 273)^4 - T_{sky}^4) - h_l \times r \times (T_c - T_{in}) - h_w \times r \times (T_c - T_{out})) \quad (3.17)$$

dimana  $c_c$  adalah panas jenis volumetrik bahan penutup ( $\text{kJ/m}^3 \text{K}$ ),  $w$  adalah ketebalan lapisan bahan penutup (m),  $T_c$  adalah suhu atap ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $I_o$  adalah radiasi global matahari pada bidang horisontal ( $\text{W/m}^2$ ),  $\alpha_s$  adalah absorptivitas bahan penutup terhadap gelombang pendek,  $K$  adalah kosinus sudut datang radiasi matahari,  $\sigma$  adalah konstanta Stefan Boltzman ( $\text{W/m}^2 \text{K}^4$ ),  $\alpha_l$  adalah absorptivitas bahan penutup terhadap gelombang panjang,  $T_{sky}$  adalah angka pendekatan suhu langit (K),  $h_l$  adalah koefisien pindah panas konveksi dari permukaan atap bagian dalam ke udara dalam rumah tanaman ( $\text{W/m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ),  $r$  adalah perbandingan luas atap terhadap luas lantai,  $T_{in}$  adalah suhu udara dalam rumah tanaman ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $h_w$  adalah koefisien pindah panas konveksi di permukaan atap bagian luar karena pengaruh angin ( $\text{W/m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) dan  $T_{out}$  adalah suhu udara di luar rumah tanaman ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Koefisien pindah panas konveksi karena pengaruh angin ( $h_w$ ) pada permukaan atap bagian luar dihitung dengan berdasarkan Persamaan empirik Duffie dan Beckmann (1980).

$$h_w = 5.7 + 3.8v \quad (3.18)$$

dimana  $v$  adalah kecepatan angin (m/s).

2. Keseimbangan panas pada udara di dalam rumah tanaman

$$c_a \times l \times dT_m / dt = h_i \times r \times (T_c - T_m) + h_f \times (T_f - T_m) + h_v \times (T_{out} - T_m) + Q_{st} \times \tau \times I_o \times K \quad (3.19)$$

dimana  $c_a$  adalah panas jenis volumetrik udara dalam rumah tanaman ( $\text{kJ/m}^3 \text{K}$ ),  $l$  adalah tinggi rata-rata (m),  $h_f$  adalah koefisien pindah panas konveksi dari permukaan lantai ke udara dalam rumah tanaman ( $\text{W/m}^2\text{°C}$ ),  $T_f$  adalah suhu permukaan lantai ( $\text{°C}$ ),  $h_v$  adalah koefisien pindah panas konveksi karena pengaruh aliran udara melalui ventilasi ( $\text{W/m}^2\text{°C}$ ),  $Q_{st}$  adalah panas sensibel yang diserap tanaman,  $\tau$  adalah transmisivitas bahan penutup.

3. Keseimbangan panas pada permukaan lantai rumah tanaman

$$c_f \times z_0 \times dT_f / dt = \alpha_f \times I_o \times \tau \times K - 2 \times k_f \times (T_f - T_{z1}) / (z_0 + z_1) - h_f \times (T_f - T_m) - \sigma \times \varepsilon \times ((T_f + 273)^4 - (T_c + 273)^4) \quad (3.20)$$

dimana  $c_f$  adalah panas jenis volumetrik lantai ( $\text{kJ/m}^3 \text{K}$ ),  $z_0$  adalah ketebalan lapisan tanah yang mewakili suhu permukaan lantai (m),  $\alpha_f$  adalah absorptivitas panas lantai,  $k_f$  adalah konduktivitas panas lantai ( $\text{W/m K}$ ),  $T_{z1}$  adalah suhu lapisan tanah pada kedalaman 0.0315 m ( $\text{°C}$ ),  $z_1$  adalah ketebalan lapisan tanah yang mewakili lapisan pertama (m),  $\varepsilon$  adalah emisivitas panas lantai.

4. Keseimbangan panas pada lapisan tanah di rumah tanaman

$$c_f \times z_1 \times dT_{z1} / dt = 2 \times k_s \times (T_f - T_{z1}) / (z_0 + z_1) + 2 \times k_s \times (T_d - T_{z1}) / z_1 \quad (3.21)$$

Dimana  $k_s$  adalah konduktivitas panas pada tanah dalam rumah

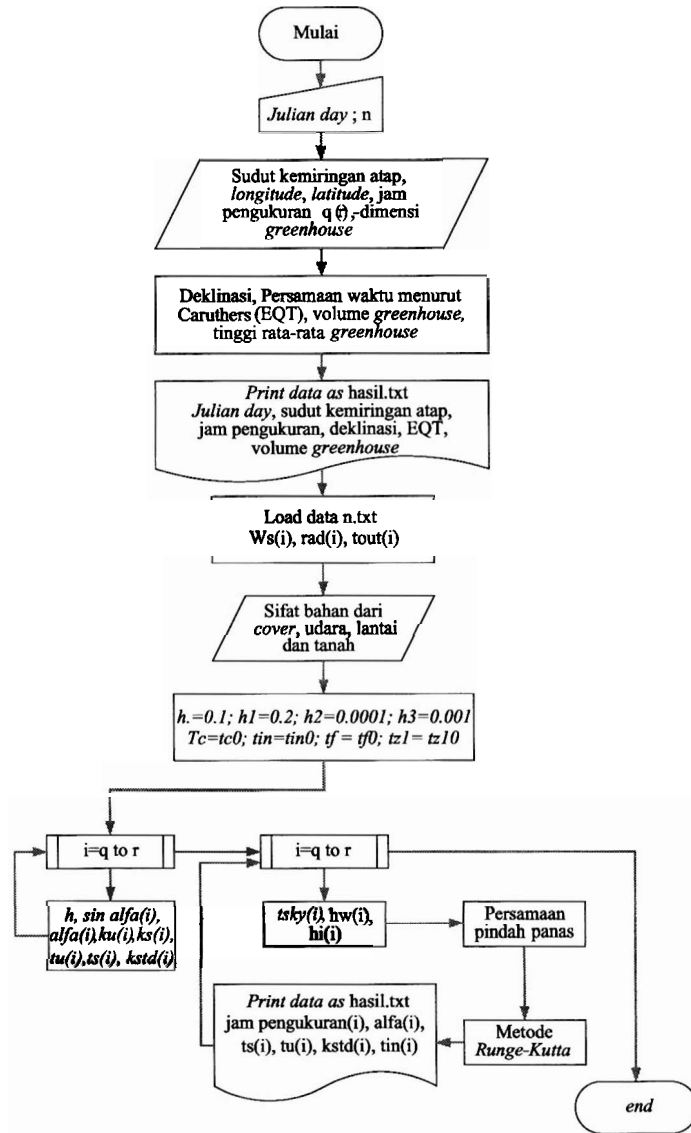
tanaman ( $W/m^{\circ}C$ ) dan  $T_d$  adalah suhu tanah dibawah lapisan tanah yang dianggap konstan ( $^{\circ}C$ ).

Analisis sudut datang radiasi matahari dilakukan untuk mengetahui besarnya radiasi matahari langsung yang diserap dan ditransmisikan oleh atap. Selanjutnya, suhu atap, suhu udara di dalam rumah tanaman, suhu permukaan lantai dan suhu tanah di dalam rumah tanaman dihitung dari kondisi batas suhu udara di luar rumah tanaman dan suhu di bawah lapisan tanah dengan menggunakan prinsip keseimbangan panas sebagaimana disajikan dalam Persamaan (3.11) sampai dengan (3.21).

Untuk memecahkan persamaan-persamaan tersebut dapat dibuat sebuah program komputer. Input program adalah karakteristik elemen-elemen rumah tanaman dan data cuaca hasil pengukuran di sekitar rumah tanaman, sedangkan outputnya adalah hasil pendugaan suhu udara di dalam rumah tanaman. Diagram alir program komputer untuk memprediksi suhu udara di dalam rumah tanaman diberikan pada Gambar 3.5.

Hasil penelitian Suhardiyanto *et al.* (2007a) menunjukkan bahwa hasil prediksi suhu udara di dalam rumah tanaman mendekati hasil pengukuran (Gambar 3.6). Pengujian keakuratan hasil simulasi dapat dilakukan dengan analisis regresi yang terbentuk pada hubungan linear antara suhu hasil pengukuran dan hasil simulasi (Gambar 3.7). Berdasarkan analisis regresi, dapat diketahui bahwa model pindah panas tersebut valid dan dapat digunakan untuk memprediksi suhu udara di dalam rumah tanaman sebagai dasar perancangan rumah tanaman.

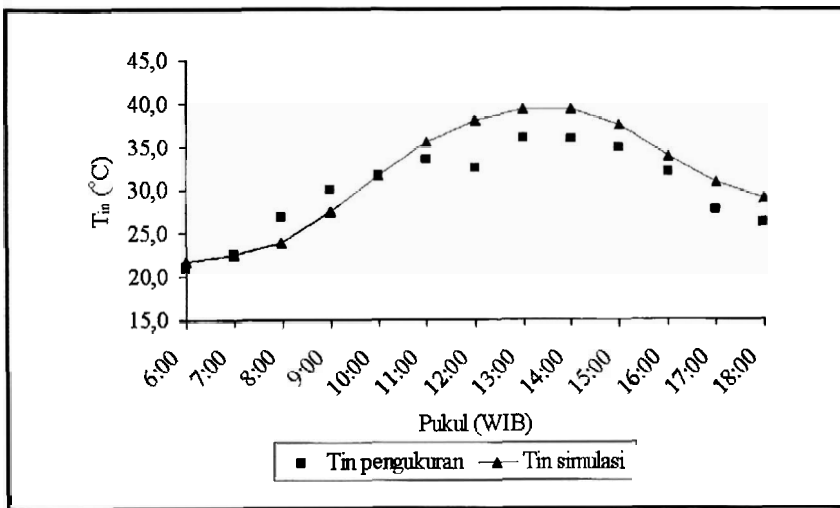
## Pemodelan Suhu Udara di Dalam Rumah Tanaman



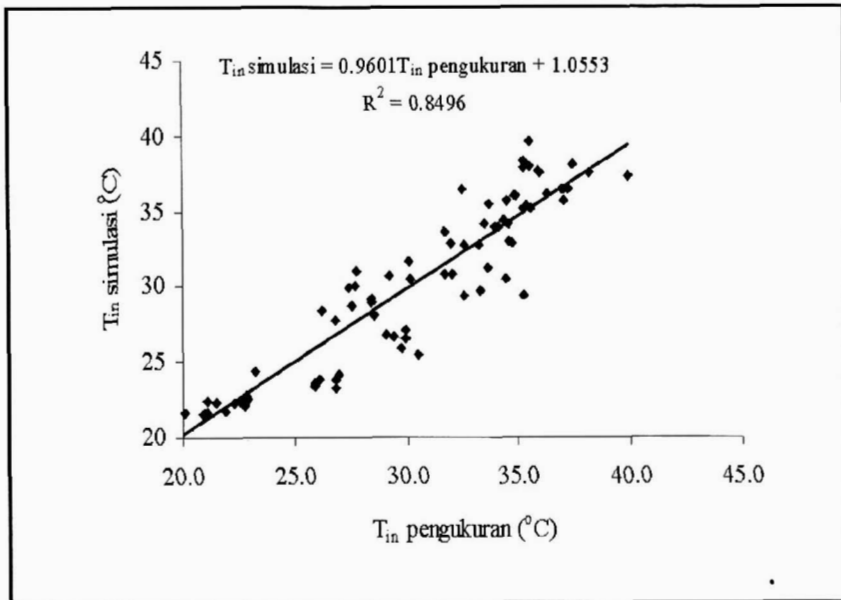
Ket:  $n = 172, 173, 174, 175, 177$  dan  $181$

Gambar 3.5. Diagram alir program komputer untuk memprediksi suhu udara di dalam rumah tanaman (Nuryawati, 2006).





Gambar 3.6. Perbandingan suhu udara di dalam rumah tanaman hasil simulasi dengan hasil pengukuran pada cuaca cerah (Suhardiyanto *et al.*, 2007a).

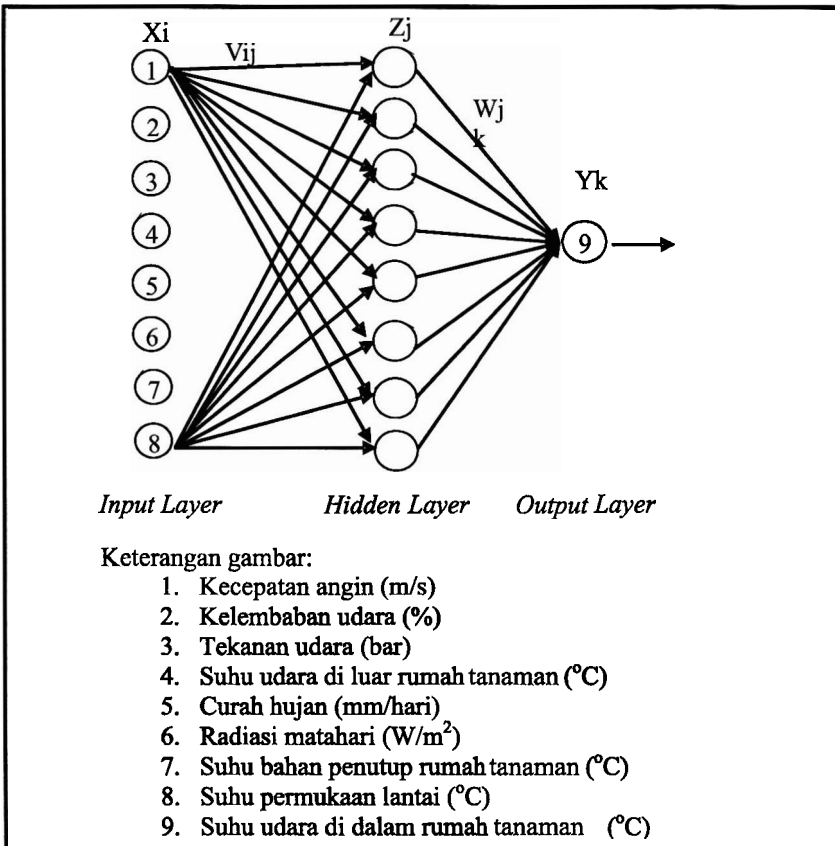


Gambar 3.7. Hubungan linear antara suhu udara di dalam rumah tanaman hasil simulasi dengan hasil pengukuran (Suhardiyanto *et al.*, 2007a).

Perancangan rumah tanaman merupakan langkah awal yang menentukan tercapainya lingkungan yang optimal bagi tanaman. Pendugaan suhu udara di dalam rumah tanaman dibutuhkan sebelum perancangan rumah tanaman untuk mendapatkan gambaran iklim mikro yang akan terjadi di dalam rumah tanaman tersebut. Hal ini antara lain berkaitan dengan bentuk dan kemiringan sudut atap, bukaan ventilasi, dan ketinggian dinding rumah tanaman yang merupakan elemen-elemen penting dalam perancangan rumah tanaman.

### **3.2. Pemodelan Jaringan Syaraf Tiruan (JST)**

Hubungan antara suhu udara di dalam rumah tanaman dengan faktor-faktor lingkungan yang mempengaruhi dapat juga dibangun dengan pendekatan *black box*. Dalam kategori pendekatan ini, pemodelan Jaringan Syaraf Tiruan (JST) merupakan salah satu pemodelan yang *robust* dalam menerangkan hubungan antara parameter-parameter input dan output. Suhardiyanto *et al.* (2007b) mengembangkan model JST untuk pendugaan suhu udara dalam rumah tanaman dengan menempatkan faktor lingkungan, seperti kecepatan angin, kelembaban udara, radiasi matahari, suhu udara di luar rumah tanaman, dan kemiringan atap dijadikan sebagai parameter input ( $X_i$ ). Suhu udara di dalam rumah tanaman dijadikan sebagai parameter output ( $Y_o$ ). Gambar 3.8 memperlihatkan model JST yang digunakan dalam penelitian tersebut.



Gambar 3.8. Model JST yang digunakan untuk pendugaan suhu udara di dalam rumah tanaman (Suhardiyanto *et al.*, 2007b).

Dalam penelitian tersebut algoritma *back propagation* digunakan dengan bahasa pemrograman Visual Basic 6.0. Dalam algoritma *back propagation* digunakan *error output* untuk mengubah nilai pembobotnya dalam arah mundur (*backward*). Agar *error output* dapat diperoleh, tahap perambatan maju (*forward propagation*) dikerjakan terlebih dahulu (Fu, 1994).

Kinerja jaringan dapat dinilai berdasarkan nilai koefisien korelasi ( $R^2$ ) dan nilai *Root Mean Square Error (RMSE)* pada proses generalisasi terhadap contoh data *input-output* baru. Nilai *RMSE* dapat diperoleh dari persamaan berikut (Fu, 1994).

$$RMSE = \sqrt{\sum (Y_k - T_k)^2 / n} \quad (3.22)$$

dimana *RMSE* adalah *Root Mean Square Error*,  $Y_k$  adalah suhu hasil pendugaan dengan JST,  $T_k$  adalah suhu hasil pengukuran, dan  $n$  adalah jumlah data pada set validasi. Proses validasi merupakan pengujian kinerja JST terhadap contoh data yang belum pernah diberikan dalam *training*. Validasi dilakukan setelah mendapatkan nilai *RMSE* yang cukup kecil. Validasi JST dilakukan dengan menghitung *Standard Error of Prediction (SEP)*, *bias* ( $\bar{d}$ ), dan *Coefficient of Variation (CV)*.

$$SEP = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(Y_a - Y_p)^2}{n-1}} \quad (3.23)$$

$$\bar{d} = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_a - Y_p)}{n} \quad (3.24)$$

$$CV = \frac{SEP}{Y_a} \times 100\% \quad (3.25)$$

dimana  $Y_a$  adalah nilai aktual dari pengukuran,  $Y_p$  adalah nilai prediksi oleh JST,  $n$  adalah jumlah data, dan  $\bar{Y}_a$  adalah nilai rata-rata aktual pengukuran.

Parameter input meliputi delapan parameter terpenting yang menentukan besaran parameter output. Adanya angin yang dicerminkan oleh kecepatannya menyebabkan perbedaan tekanan udara pada posisi di dalam dan di luar rumah tanaman. Kelembaban udara menentukan suhu udara di dalam rumah tanaman sesuai dengan prinsip-prinsip termodinamika dan sifat-sifat udara basah. Tekanan udara di dalam rumah tanaman berhubungan erat dengan aliran udara masuk dan keluar dari rumah tanaman yang pada akhirnya juga ikut menentukan suhu udara di dalam rumah tanaman. Suhu udara di luar rumah tanaman tentu saja menentukan suhu udara di dalam rumah tanaman sejalan dengan laju ventilasi melalui rumah tanaman. Curah hujan ikut menentukan suhu udara di dalam rumah tanaman melalui proses penguapan air hujan dan proses-proses termal terkait. Radiasi matahari gelombang pendek yang masuk ke dalam rumah tanaman diubah menjadi gelombang panjang sehingga menimbulkan *greenhouse effect* yang menyebabkan kenaikan suhu udara di dalam rumah tanaman. Suhu bahan penutup rumah tanaman dan suhu permukaan lantai ikut menentukan suhu udara di dalam rumah tanaman melalui proses konveksi dari kedua permukaan yang bersentuhan langsung dengan udara di dalam rumah tanaman.

Hasil pengukuran sebagaimana dilaporkan dalam Suhardiyanto *et al.*, 2007b meliputi 657 unit data. Selanjutnya, data dibagi dua, sebagian untuk *training* dan sebagian yang lain untuk validasi. Tiga buah model JST dibangun dari data yang diperoleh dengan perbedaan proporsi data untuk *training* dan

untuk validasi. Tiga buah model JST dibangun dari data yang diperoleh dengan perbedaan proporsi data untuk *training* dan untuk validasi. Dalam penelitian ini, proporsi terbaik adalah data untuk *training* sebesar 67 % dan untuk validasi 33 % dari total data, sebagaimana ditunjukkan oleh nilai *SEP* dan *CV* yang selalu lebih kecil dibandingkan dengan kedua model yang lain, pada berbagai jumlah iterasi mulai dari 5000 sampai dengan 50000. Bias pada ketiga model tersebut mendekati nol, yaitu berada pada selang nilai antara -0.1 dan 0.2.

Menurut Suhardiyanto *et al.* (2007b) kinerja model JST untuk pendugaan suhu udara di dalam rumah tanaman ternyata cukup baik, yaitu ditunjukkan oleh hasil validasi yang berupa nilai *CV* dan *SEP* yang rendah dan *bias* yang mendekati nol. Informasi ini merupakan tahap awal dalam menentukan sudut kemiringan atap dan tinggi dinding rumah tanaman yang optimal. Metode optimasi yang tepat dalam pemecahan masalah ini selanjutnya adalah menggunakan Algoritma Genetika (AG). Optimasi dapat dilakukan dengan pencarian berbagai kombinasi kemiringan sudut atap dan tinggi dinding pada selang tertentu untuk meminimalisasi suhu udara maksimum dalam rumah tanaman (Sumarni, 2007). Hasil analisis ini akan menentukan kesesuaian rancangan rumah tanaman di suatu lokasi.