MODEL JARINGAN SYARAF TIRUAN UNTUK PERTUMBUHAN TANAMAN KETIMUN MINI (*Cucumis sativus L. Var. Marla*) PADA FASE VEGETATIF

A Model of Vegetative Stage of Baby Cucumber Using Artificial Neural Network

Tamrin[1], K. B. Seminar[2], H. Suhardiyanto[3], S. Hardjoamidjodjo[4]

Abstract

A model of how a plant reacts to their micro climate is of great importance to control the physical micro climate around the plant and to other major input problems (such as nutrition intake). Artificial neural network (ANN) can be utilized to model a plant reaction to their microclimate in a more objective fashion by applying the ANN to measured data, and not from a pre-assumed model structure. This paper discusses a model of the plant response (the ratio of canopy area-stem diameter of baby cucumber) and the loss of nutrition solution as output and nutrition solution intake and microclimate (temperature, humidity, and irradiation) as input by using artificial neural network of dynamic response.

The efficiency model (EI) and the average of percentage of deviation (APD) in training for the ratio of canopy-stem diameter was 95% ± 1.3%; and the loss of nutrition solution was 99% ± 4.9%. Whereas, in validation, the ratio of canopy-stem diameter was 93% ± 0.62%; and the loss of nutrition solution was 96% ± 0.43%. The results showed that the ANN model of dynamic response had good agreement in predicting the plant response and the loss of nutrition solution based on nutrition solution intake and microclimate. The method of capturing of cucumber image and image processing software has been successfully developed for predicting canopy area of the plant.

Keywords: image processing, plant response, nutrition solution, microclimate, artificial neural networks

PENDAHULUAN

Kesulitan dalam masalah produksi tanaman baik secara kuantitas maupun kualitas didasarkan pada kenyataan bahwa tanaman adalah agen sistem bio (bio system) yang bersifat kompleks dan dinamik. Hal ini dicirikan dengan sifat-sifat tidak linier, pewarisan genetik, peka waktu, dan pengendalikan aktivitas fotosintesis yang menjadi perilaku kunci agen sistem bio (Seminar, 2000).

Hubungan lingkungan dengan tanaman sangat kompleks, karena jumlah kombinasi faktor lingkungan dengan jenis tanaman dan.interaksi secara kontinyu antara semua faktor lingkungan pada semua tingkatan adalah tak hingga. Model pertumbuhan tanaman telah banyak dikembangkan, antara lain oleh Jones (1991); dan Challa dan Baker (1995). Dikemukakan oleh Berckmans dan Pee (1998) bahwa model-model pertumbuhan tanaman yang dikembangkan secara

[1] Mahasiswa doktoral Departemen Teknik Pertanian FATETA-IPB & staf pengajar Program Studi Teknik Pertanian, FAPERTA-UNSRI

[2, 3, 4] Staf Pengajar Departemen Teknik Pertanian, FATETA-IPB

mekanistik sering sangat kompleks dan efisien untuk memahami proses tetapi tidak dibuat untuk tujuan kontrol.

Salah satu pendekatan yang tengah berkembang dan lebih objektif adalah model 'black box', yang dimulai dari data yang diukur bukan dari struktut model yang dasumsikan sebelumnya. Hal ini akan menghasilkan model yang relatif tidak kompleks dan lebih mudah untuk diimplementasikan dalam bentuk micro-processor.

Pengontrolan lingkungan dengan basis tanaman adalah kontrol masukan yang didasarkan pada pengukuran keluaran yang langsung dari tanaman atau ekofisiologi tanaman. Konsep ini dikenal dengan istilah 'speaking plant', yang dikemukakan antara lain oleh (Berckmans dan Pee (1998), Hashimoto (1989), dan Subrata *et al.* (2001) Sampai sekarang, aplikasinya di lapangan masih terbatas pada 'off line'. Tetapi hal ini terus berkembang, terutama penggunaan model 'black box' untuk mencari hubungan 'setpoint' lingkungan dengan parameter pertumbuhan tanaman.

Upaya untuk meminimalkan pengaruh lingkungan terhadap tanaman, biasanya menggunakan rumah-tanaman dan dibudidayakan secara hidroponik, terutama tanaman yang dalam budidayanya rumit, seperti ketimun mini. Karena kondisi nutrisi dan lingkungan relatif terpenuhi, tidak jarang pertumbuhan vegetatif tanaman lebih aktif dari pertumbuhan reproduktif.

Pertumbuhan vegetatif yang berlebihan berakibat kepada terhambatnya pertumbuhan reproduktif. Sehingga keseimbangan antara pertumbuhan vegetatif dan reproduktif perlu dipertahankan pada tingkatan tertentu. Hal ini tidak saja bermanfaat untuk produksi yang lebih tinggi tapi juga untuk menghindari pemberian nutrisi yang berlebihan yang akhirnya tidak menguntungkan secara ekonomi dan juga merusak lingkungan.

Karena pertumbuhan fase vegetatif menentukan fase reproduktif, sehingga perlu upaya menentukan kondisi optimal fase ini. Salah satu indikator yang biasanya digunakan untuk memprediksi fase reproduktif adalah rasio berat kering batang dan berat kering akar, semakin kecil nilai rasio ini semakin baik. Hal ini dikarenakan makin besar pertumbuhan batang akan mengakibatkan proses pembungaan yang buruk (Morimoto dan Hasyimoto, 1998). Namun demikian, karena pengukuran pertumbuhan daun lebih mudah daripada akar dan makin luas pertumbuhan daun akan meningkatkan produksi fotosintesis daun, Morimoto dan Hasyimoto (1998) melakukan pengukuran daun, dan menggunakan rasio panjang daun-diameter batang sebagai indikator peramalan fase reproduktif. Makin tinggi nilai rasio ini makin baik.

Dalam penelitian ini indikator peramalan fase reproduktif adalah rasio luas kanopi-diameter batang pada fase vegetatif. Hal ini mempertimbangkan bahwa sebagian besar cahaya matahari yang mengenai tanaman adalah daun bagian atas, selain itu pengukuran luas kanopi dan diameter batang tidak merusak tanaman. Pengukuran kanopi dilakukan dengan cara mengambil citra dari atas kanopi menggunakan kamera lalu diproses dengan komputer (image processing) untuk mengetahui luas kanopinya. Hal ini memungkinkan, terutama untuk tanaman sayuran yang kanopinya tidak terlalu luas, seperti pada paprika, tomat, ketimun mini dan lain-lain. Makin besar nilai rasio luas kanopi-diameter batang akan menghasilkan pertumbuhan reproduktif yang makin baik, yaitu buah yang memenuhi standar makin banyak (berat).

Model 'black box' yang akan digunakan untuk mencari hubungan antara faktor lingkungan mikro (suhu, kelembaban dan iradiasi) dan larutan nutrisi yang diberikan dengan respon tanaman (rasio luas kanopi-diameter batang) dan nutrisi yang hilang (limpasan) adalah jaringan syaraf tiruan (JST) respon dinamik.

Pada makalah ini akan dibahas hasil pemodelan dan simulasi rasio kanopi-diameter batang tanaman ketimun mini (*Cucumis sativus L.* var. *Marla*) pada fase vegetatif dan limpasan yang dipengaruhi oleh nutrisi yang diberikan, suhu, kelembaban dan iradiasi menggunakan Jaringan syaraf tiruan respon dinamik.

Jaringan Syaraf Tiruan Respon Dinamik

Jaringan syaraf tiruan dinamik (respon dinamik) biasanya dibedakan menjadi respon dinamik internal dan eksternal. Respon dinamik internal dicirikan dengan penentuan keluaran sekarang berdasarkan pada keluaran sebelumnya dan data masukan (statik). Dengan kata lain hanya keluarannya saja yang didasarkan kepada keluaran sebelumnya (keluaran dinamik). Sedangkan respon dinamik eksternal memberlakukan keluaran dan masukan sekarang berdasarkan keluaran dan masukan sebelumnya (Morimoto dan Hasyimoto, 1998).

Keuntungan utama respon dinamik internal adalah penggunaan memori menjadi lebih efisien karena jumlah nodus dalam lapisan masukan menjadi berkurang. Namun demikian, tidak cocok untuk digunakan dalam prediksi. Sistem JST respon dinamik eksternal membutuhkan waktu tunda (time-delay). Arsitektur JST respon dinamik eksternal dengan dua keluaran dan enam masukan dapat dilihat pada Gambar 1.

Respon eksternal dinamik dicirikan adanya keluaran yang diumpan balikan kepada lapisan masukan. Salah satu algoritma pembelajaran yang telah banyak digunakan dalam JST adalah penjalaran balik (backpropagation). Adapun algoritma JST penjalaran balik respon dinamik (Gambar 1) adalah pertama-tama memberikan vektor masukan $X=(1,2,\ldots6)^T$. Kemudian secara berturut-turut menghitung: masukan total dari setiap simpul pada lapisan tersembunyi (pers. 1), keluaran dari setiap simpul pada lapisan tersembunyi (pers. 2), masukan total dari setiap simpul pada lapisan keluaran (pers. 3), keluaran dari setiap simpul pada lapisan keluaran (pers. 4), eror dari setiap simpul pada lapisan keluaran (pers. 5), eror dari setiap simpul pada lapisan tersembunyi (pers. 6), bobot pada lapisan tersembunyi (pers. 7), dan mengubah harga bobot pada lapisan keluaran (pers. 8). Adapun persamaan-persamaan yang dimaksud adalah sebagai berikut,

$$M_j^h = \sum_{i=1}^{n} W_{ij}^h \; X_i \tag{1}$$

$$M_j^h = f_j^h(M_j^h) \tag{2}$$

$$M_k^o = \sum_{j=1}^{n} W_{jk}^o M_j^h \tag{3}$$

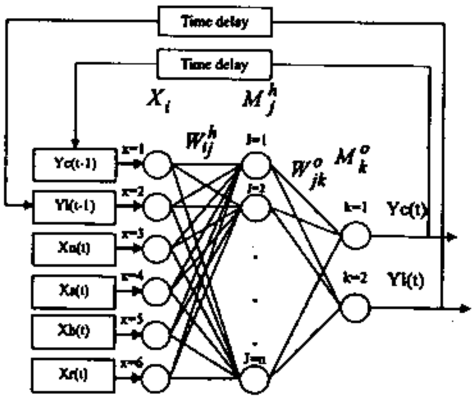
$$M_k^o = f^c\left(M_k^o\right) \tag{4}$$

$$\delta_k^o = Y_k - M_k^o \tag{5}$$

$$\delta_j^h = (M_j^h)(\sum_{k=1}^{2} Y_k - M_k^o) W_{jk}^o) \tag{6}$$

$$W_{ij}^o(t+1) = W_{ij}^o(t) + \eta\,\delta_j^h X_i \tag{7}$$

$$W_{jk}^o(t+1) = W_{jk}^o(t) + \eta\,\delta_k^o X_j^h \tag{8}$$



Gambar 1. Arsitektur JST respon dinamik

Selanjutnya untuk melihat keandalan model dilakukan analisis eror dengan menghitung: RMS Error (pers. 9), tingkat kebenaran (pers. 10) dan tingkat kesalahan (pers. 11), dimana a adalah nilai aktual, p adalah nilai prediksi serta i dan N masing-masing adalah data ke-i dan data ke-N.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(p_i - a_i)^2} \qquad (9)$$

$$EI = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{N}\left(a_i - \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} a_i\right)^2}{\sum_{i=1}^{N}(a_i - p_i)^2} \qquad (10)$$

$$APD = \frac{100}{N}\sqrt{\left(\frac{a_i - p_i}{p_i}\right)^2} \qquad (11)$$

METODE PENELITIAN

Waktu, Tempat, Bahan dan Alat

Penelitian ini dilaksanakan November sampai Desember 2004 di Greenhouse PT Saung Mirwan-Bogor, menggunakan bahan dan peralatan: 1) benih kentimun mini varietas marla, 2) larutan nutrisi berupa campuran $Ca(NO_3)4$, Urea, FeEDTA 13%, K_2SO_4, $KHPO_4$, $MgSO_4$, $MnSO_4$, $ZnSO_4$, borax, dan $CuSO_4$, 3) media tanam arang sekam, 4) tali ajir, 5) jangka sorong-tipe: SK, 6) mistar-ukuran 30 cm, 7) camera digital-tipe /model: N50CE/DSC-P31, 8) Multi points recorder-tipe/model: T -50 sd 150 °C/3038, 9) pyranometer-model: Ms-401, 10) gelas ukur-ukuran 1000 ml, 11) portable pH/EC/TDS meter-model: HI9812 11) anemometer-model: Lutron AM-4204HA, 12) bahasa pemrograman Delphi 5.0, dan 13) satu set komputer PC dengan spesifikasi CPU Pentium (R) 4, memory RAM 512 MB dan hardisk 40 GB.

Prosedur Kerja

Setelah mendesain dan membangun perangkat lunak proses citra dan jaringan syaraf tiruan respon dinamik serta mendesain eksperimental dilapangan, dilanjutkan dengan persiapan tanam dan penanaman. Tanaman sebelum dipindahkan ke media arang sekam disemaikan selama satu minggu. Masing-masing media ditanami dengan satu bibit. Sistem pengairan yang digunakan adalah irigasi tetes. Pemberian larutan nutrisi mengikuti cara yang biasa dilakukan di PT Saung Mirwan, yaitu berdasarkan suhu dan kondisi tanaman.

Perlakuan (pola) di lapangan ditentukan berdasarkan bukaan penetes, yaitu sebanyak 9 pola. Kemudian dilanjutkan dengan pengamatan (15 hari) dan pengolahan data. Data yang dikumpulkan mencakup volume nutrisi yang diberikan, nutrisi yang hilang (limpasan), luas kanopi (menggunakan kamera foto, imej yang didapat diolah dengan perangkat lunak yang telah disiapkan), diameter batang, suhu, kelembaban dan iradiasi matahari.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Citra kanopi Tanaman

Citra kanopi tanaman ketimun, yang dikumpulkan dari lapangan melalui kamera, diproses dengan menggunakan perangkat lunak proses citra yang telah dikembangkan sebelumnya. Keluaran dari perangkat lunak ini berupa luasan citra kanopi tanaman.

Hal di atas memungkinkan karena dalam pengambilan citra di lapangan selain objek sasaran juga disertakan objek tuntun dengan warna tertentu dengan ukuran yang telah diketahui. Adapun citra sebelum dan setelah diproses dapat dilihat pada Gambar 2.

Pengertian kanopi disini adalah objek bagian atas tanaman timun (meliputi daun dan tangkai daun) yang terekam oleh kamera dimana posisi pengambilannya dengan kamera relatif tegak lurus. Kanopi yang direkam dengan cara ini menganalogkan penerimaan kanopi terhadap cahaya matahari. Bagian daun atau tangkai tanaman yang tidak terekam berarti kontribusinya dalam fotosintesis sangat kecil atau dapat diabaikan.

Pada pemrosesan lebih lanjut, objek tuntun dan sasaran dalam satu citra dipisahkan dengan program paint microsoft. Kemudian dengan perangkat lunak proses citra yang dikembangkan, objek tuntun diproses terlebih dahulu untuk keperluan kalibrasi, lalu objek sasaran untuk menduga atau menghitung luas kanopi. Pada proses tersebut menggunakan proses 'tresholding' dan 'filtering'. 'Tresholding' mencukupi bila intensitas objek berada dalam interval yang ditentukan dan nilai intensitas latar belakangnya berada di luar interval. 'Filtering' digunakan untuk memisahkan antara objek atau citra sasaran dengan objek selainnya yang terbentuk sebagai akibat proses 'tresholding' yang tidak sempurna.

Hasil pendugaan luas kanopi ini, kemudian dibagi dengan hasil pengukuran diameter batang dan diistilahkan dengan rasio kanopi-diameter. Rasio kanopi-diamater tanaman pada fase vegetatif ini diasumsikan sebagai representasi pengukuran parameter tanaman untuk menyeimbangkan pertumbuhan vegetatif dan generatif tanaman. Semakin besar nilai rasio ini diharapkan perkembangan fase generatif (bunga dan buah) maksimal. Selanjutnya bersama-sama data nutrisi yang diberikan, limpasan dan lingkungan digunakan untuk mengembangkan model JST respon dinamik.

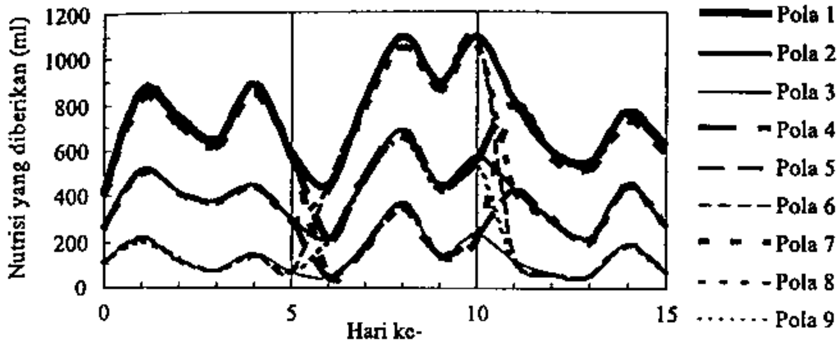
Model Jaringan Syaraf Tiruan Respon Dinamik

Model JST yang dibangun mempunyai enam masukan yang terdiri dari empat masukan statik, yaitu nutrisi yang diberikan, suhu, kelembaban dan iradiasi; dan dua masukan dinamik, yaitu rasio kanopi-diameter batang dan limpasan. Masukan dinamik ini merupakan umpan balik dari keluaran. Keluaran JST terdiri dari dua, yaitu rasio kanopi-diameter batang dan limpasan. Adapun arsitektur model JST respon dinamik ini dapat dilihat pada Gambar 1.

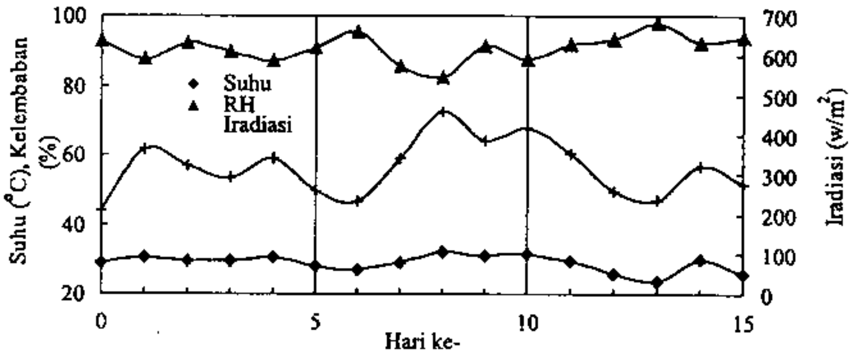
Rancangan sistem perlakuan menghasilkan sembilan pola nutrisi yang diberikan. Data nutrisi yang diberikan dikumpulkan bersama-sama data rata-rata harian lingkungan (suhu, kelembaban dan iradiasi), data rasio kanopi-tanaman dan data banyaknya nutrisi yang hilang. Data dikumpulkan selama 15 hari sesuai dengan umur fase vegetatif tanaman ketimun. Data hasil pengukuran tersebut, secara berturut-turut dapat dilihat pada Gambar 3, 4, 5, dan 6.

Jumlah data yang dikumpulkan adalah 135 pasang data yang mencakup sembilan pola (perlakuan) untuk 15 hari. Data disusun atau disesuaikan dengan kebutuhan model JST respon dinamik yang akan dikembangkan, yaitu 120 pasang data-terdiri dari delapan pola, yaitu Pola I, II, III, V, VI, VII, VIII,dan IX-untuk kebutuhan training; dan 15 pasang data-terdiri dari satu pola, yaitu pola IV-untuk validasi.

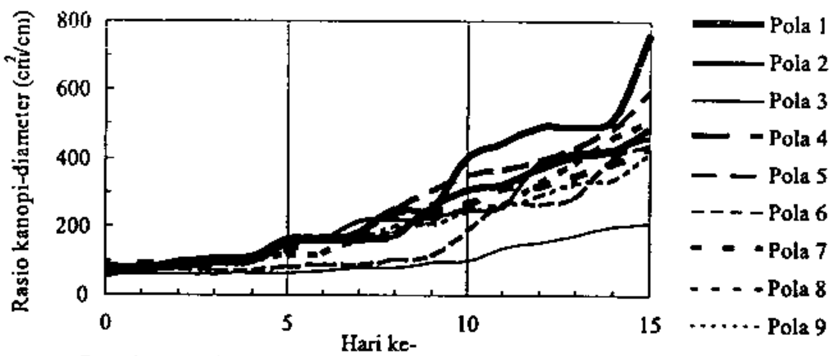
Gambar 2. Citra sebelum dan setelah diproses



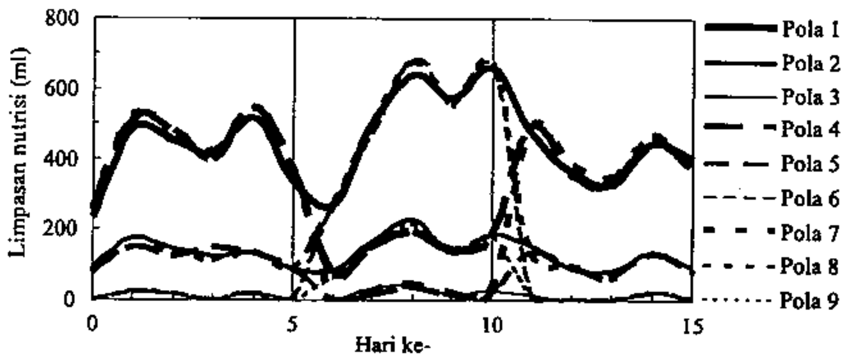
Gambar 3. Pengukuran perubahan larutan nutrisi yang diberikan



Gambar 4. Pengukuran perubahan iklim mikro



Gambar 5. Pengukuran perubahan rasio kanopi-diameter

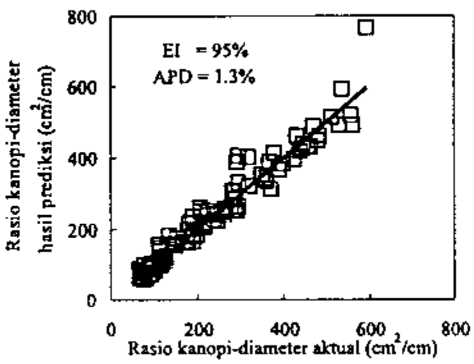


Gambar 6. Pengukuran perubahan limpasan nutris

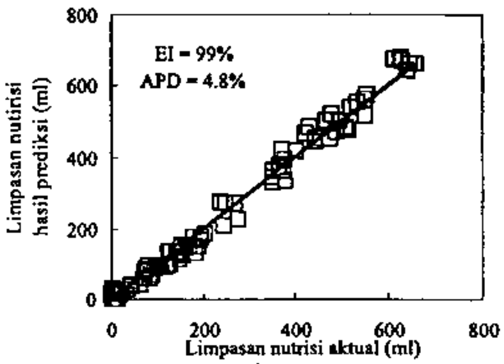
Pemilihan data untuk validasi dipilih secara acak dari pola-pola II, IV, V, VI, VII, VII dan IX. Pola I dan III tidak dimasukan dalam seleksi karena kedua pola tersebut adalah pola tertinggi dan terendah. Lima belas pasang data pola IV yang terpilih untuk digunakan pada proses validasi tidak diikutkan dalam proses pembelajaran.

Proses pembelajaran awalnya dicobakan dengan jumlah simpul dalam lapisan tersembunyi dan jumlah iterasi yang relatif kecil guna melihat kecenderungan performa model, yaitu konsistensi antara hasil pembelajaran dan validasi.

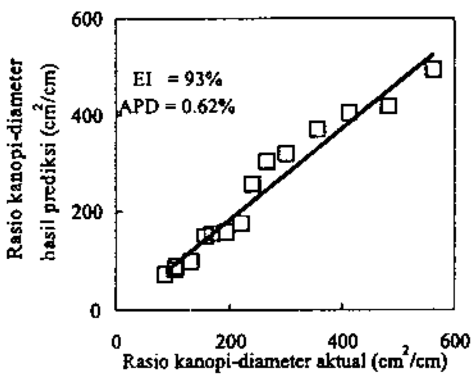
Konsistensi yang dimaksud disini adalah nilai EI dan APD kedua keluaran pada hasil pembelajaran dan validasi dapat dipertahankan pada tingkat yang layak dan relatif sama. Efisiensi model (EI) dan tingkat kesalahan model (APD) yang dianggap layak, secara berturut-turut adalah diatas 90% dan dibawah 5%. Dengan kelayakan yang demikian diharapkan performa model yang dikembangkan berada pada sekitar garis linier 45° pada diagram kartesius. Dengan kata lain, hal ini akan mencerminkan keterandalan model pada kondisi yang diharapkan, tidak mengalami 'over atau under estimate'.



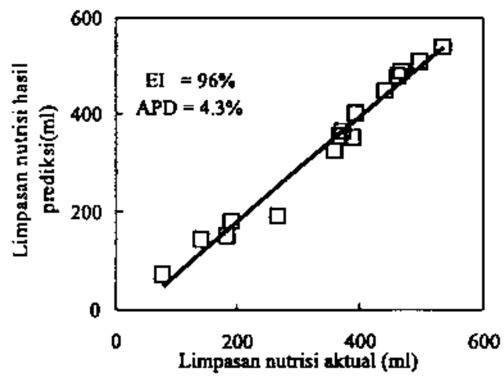
Gambar 7.
Perbandingan nilai rasio kanopi-diameter aktual dengan hasil prediksi pada proses pembelajaran



Gambar 8.
Perbandingan nilai limpasan nutrisi aktual dengan hasil prediksi pada proses pembelajaran



Gambar 9.
Perbandingan nilai rasio kanopi-diameter aktual dengan hasil prediksi pada proses validasi



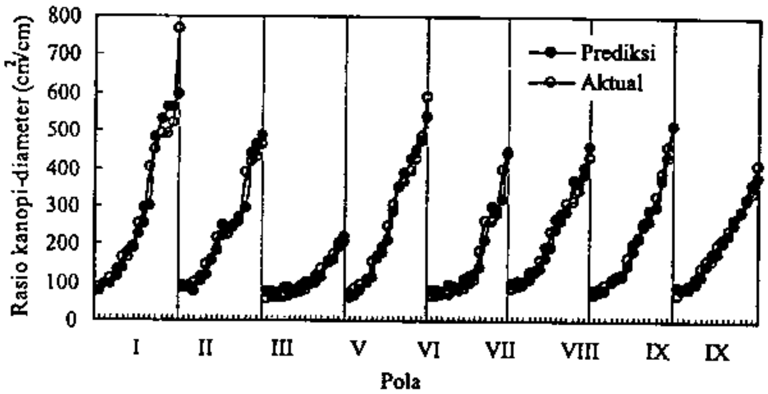
Gambar 10.
Perbandingan nilai limpasan nutrisi aktual dengan hasil prediksi pada proses validasi

Hasil perbandingan rasio kanopi-diameter dan limpasan antara nilai aktual dengan hasil prediksi (perhitungan) pada hasil pembelajaran dan validasi, masing-masing dapat dilihat pada Gambar 7, 8, 9 dan10. Sedangkan fluktuasi harian (time series) untuk masing-masing pola dapat dilihat pada Gambar 11, 12, 13 dan 14. Hasil simulasi dapat dilihat pada Gambar 15.

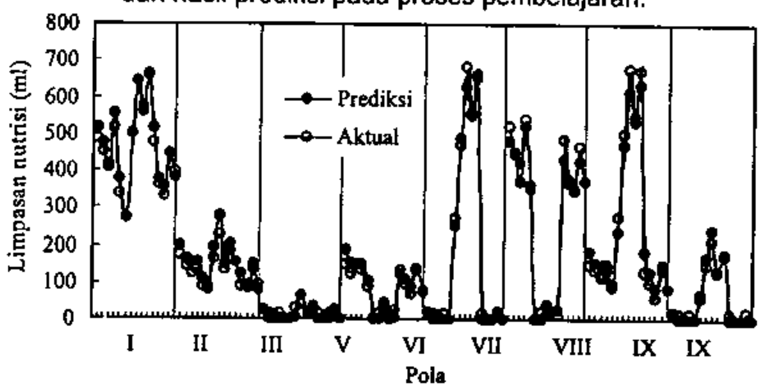
Pada pembelajaran menggunakan fungsi transfer sigmoid, jumlah lapisan tiga-masukan, tersembunyi, dan keluaran-jumlah simpul dalam lapisan tersembunyi delapan, laju pembelajaran 0.63, momentum 0.85, gain 0.9, dan iterasi 15.000.

Pada Gambar 7 sampai 10 terlihat bahwa nilai EI dan APD, yang masing-masing menunjukkan tingkat efisiensi model dan kesalahan model, baik pada hasil pembelajaran maupun validasi untuk rasio kanopi-diameter dan limpasan adalah konsisten, yaitu nilai EI minimun adalah 93% dan APD maksimum 4.9%. Disamping itu juga, Pada gambar-gambar tersebut, terlihat bahwa antara rasio kanopi-diameter dan limpasan aktual dengan prediksi relatif tidak terjadi over atau under estimate.

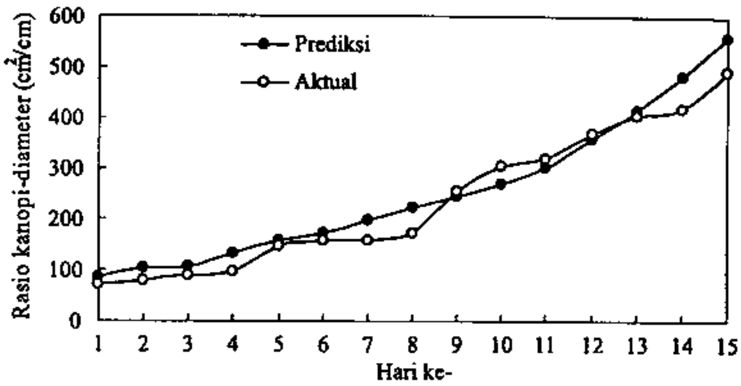
Dengan demikian model ANN respon dinamik yang dikembangkan untuk memprediksi pertumbuhan tanaman timun mini (rasio kanopi-diameter) pada fase vegetatif dan nutrisi yang hilang (limpasan) berdasarkan larutan nutrisi yang diberikan dan lingkungan mikro (suhu, kelembaban, dan iradiasi) adalah telah memadai atau baik. Adapun nilai-nilai EI dan APD pada hasil pembelajaran



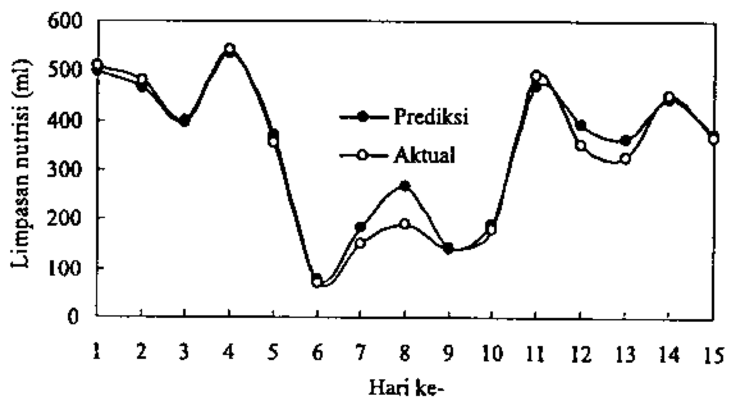
Gambar 11. Fluktuasi harian nilai rasio kanopi-diameter aktual dan hasil prediksi pada proses pembelajaran.



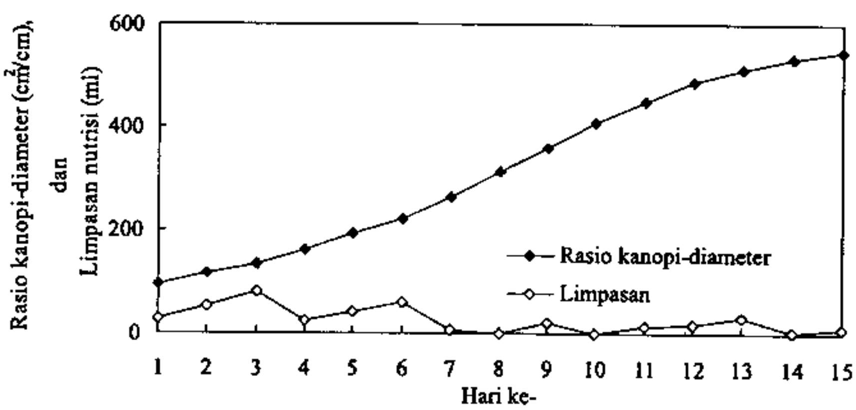
Gambar 12. Fluktuasi harian nilai limpasan nutrisi aktual dan hasil prediksi pada proses pembelajaran



Gambar 14. Fluktuasi harian nilai limpasan nutrisi aktual dan hasil prediksi pada proses validasi



Gambar 13. Fluktuasi harian nilai rasio kanopi-diameter aktual dan hasil prediksi pada proses validasi



Gambar 15. Hasil simulasi untuk larutan nutrisi dan suhu sama sedangkan kelembaban dan iradiasi berfluktuatif

untuk rasio kanopi-diameter adalah 95% dan 1,3%; untuk limpasan adalah 99% dan 4.9%. Sedangkan pada hasil validasi untuk rasio kanopi-diameter adalah 93% dan 0.62%; untuk limpasan adalah 96% dan 0.43%.

Pada gambar 15 terlihat salah satu hasil simulasi untuk skenario faktor larutan nutrisi yang diberikan dan suhu rata-rata harian sama, yaitu masing-masing 215 ml dan 31,8^{o}C sedangkan faktor kelembaban dan iradiasi dibiarkan berfluktuatif. Model ini dapat digunakan untuk memperkirakan kondisi optimum faktor nutrisi yang diberikan, suhu, kelembaban, dan iradiasi agar didapat pertumbuhan tanaman (Rasio kanopi-diameter) maksimum dan nutrisi yang hilang (limpasan) minimum.

KESIMPULAN

Perangkat lunak proses citra dan teknik pengambilan citra yang dikembangkan di lapangan telah dapat digunakan untuk memprediksi luas kanopi tanaman timun mini pada fase vegetataif. Model JST respon dinamik yang dikembangkan untuk memprediksi pertumbuhan tanaman timun mini (rasio kanopi-diameter) pada fase vegetatif dan nutrisi yang hilang (limpasan) berdasarkan larutan nutrisi yang diberikan dan lingkungan mikro (suhu, kelembaban, dan iradiasi) telah memadai atau baik. Adapun nilai-nilai EI dan APD pada hasil pembelajaran untuk rasio kanopi-diameter adalah 95% dan 1,3%; untuk limpasan adalah 99% dan 4.9%. Sedangkan pada hasil validasi untuk rasio kanopi-diameter adalah 93% dan 0.62%; untuk limpasan adalah 96% dan 0.43%.

Model ini dapat digunakan untuk memperkirakan kondisi optimum faktor nutrisi yang diberikan, suhu, kelembaban, dan iradiasi agar didapat pertumbuhan tanaman (Rasio kanopi-diameter) maksimum dan nutrisi yang hilang (limpasan) minimum.

Daftar Pustaka

Berckmans D, Pee MV. 1998. Speaking plant approach based on mathematical identification for environment control purposes. Acta Hor. 421:129-136.

Challa H, Bakker JC. 1995. Crop growth. Di dalam: Bakker JC, Bot GPA, Challa H, Van de Braak NJ, editor. Greenhouse Climate Control. Wageningen: Wageningen Pers. Hlm 100.

Fu, Limin. 1994. Neural Networks In Computer Intelligence. McGraw-Hill, Inc. Singapore.

Hashimoto Y. 1989. Recent strategies of optimal growth regulation bythe speaking plant concept. Acta Hort. 260: 115-120.

Jones JW. 1991. Crop growth, development, and production modeling. Proceedings on Automated Agriculture for the 21st Century. 16-17 December Chicago Illinois. 447-457.

Morimoto Y,Hashimoto Y. 1998. AI aproaches to identification and controlof total plant production. Di dalam: Kozai T, Murase H, Hosyi T, editor. Preprints 3rd IFAC-CIGR Workshop on Artificial Intelligent in Agriculture; Chiba; 24-26 Apr 1998. Japan: IFAC-CGR. hlm 1-19.

Seminar KB. 2000. Precision agriculture: paradigma dan aplikasi. Agrimedia. 6(1): 38-41.

Subrata MDI, Suroso, Dwinanto. 2001. Penerapan teknologi image processing dan artificial neural network untuk menduga ketersediaan air dan nutrisi pada pertumbuhan tanaman cabai merah. Buletin Keteknikan Pertanian. 15(2): 80-88.