

Expert System Design for Growth Evaluation of In Vitro Tissue Culture Plants Based on Digital Image and Fuzzy Inference System

Desain Sistem Pakar untuk Evaluasi Pertumbuhan Tanaman *In Vitro* Hasil Kultur Jaringan Berbasis Citra Digital dan Sistem Inferensi Fuzzy

Kestrilia Rega Prilianti*

Program Studi Teknik Informatika
Universitas Machung
Villa Puncak Tidar N-01, Malang 65151
Jawa Timur, Indonesia

Abstract

This paper presents an expert system design to evaluate in-vitro tissue culture plants growth. The expert system is developed to facilitate the researchers to monitor and evaluate activities in order to maintain the growth of tissue culture plants. Input of the system is a digital image of the plant and some additional information given by the researcher. The digital image is processed automatically to extract the leaf and branch intensity value. These intensity values are used as input to a fuzzy inference machine. The fuzzy inference system produces some rules explaining the status of the plant color. Together with other rules in the knowledge base, the expert system (through forward chaining reasoning) recommends appropriate maintenance procedures needed by the plant. It is shown that the accuracy of the system on giving the appropriate recommendation is 89% in average.

Key Words: digital image, fuzzy inference system, expert system, tissue culture, non-destructive evaluation

Abstrak

Tulisan ini mepresentasikan sebuah desain sistem pakar untuk mengevaluasi pertumbuhan tanaman *in vitro* hasil teknologi kultur jaringan. Sistem pakar yang dibangun digunakan untuk memfasilitasi peneliti dalam melakukan tindakan-tindakan yang diperlukan untuk mempertahankan dan memelihara pertumbuhan tanaman hasil teknologi kultur jaringan. Input dari sistem adalah citra digital dari tanaman dan beberapa informasi lain yang akan diberikan oleh peneliti. Citra digital tanaman selanjutnya akan diproses secara otomatis untuk mendapatkan data intensitas warna khusus bagian daun dan batang. Data intensitas ini selanjutnya menjadi input bagi mesin inferensi *fuzzy* yang selanjutnya akan menghasilkan aturan-aturan yang digabungkan dengan aturan-aturan lain yang telah ada di dalam basis pengetahuan. Selanjutnya, dengan mekanisme *forward chaining* sistem pakar memberikan rekomendasi mengenai tindakan penanganan yang tepat untuk suatu kondisi tanaman tertentu. Hasil uji coba menunjukkan bahwa rekomendasi yang diberikan oleh sistem cukup memuaskan dengan rata-rata keakuratan rekomendasi penanganan mencapai 89%.

Kata kunci: citra digital, sistem inferensi *fuzzy*, sistem pakar, kultur jaringan, *non-destructive evaluation*

*Corresponding Author. Tel: -
Email: kestrilia.rega@machung.ac.id
Received: 5 Mar 2013; revised: 3 Apr 2013; accepted: 16 May 2013
Published online: 22 May 2013
Corresponding editor: Rifki Sadikin
(rifki@informatika.lipi.go.id)
© 2013 INKOM 2013/13-NO214

1. PENDAHULUAN

Kultur jaringan merupakan suatu teknik yang digunakan untuk memperbanyak tanaman secara aseptik. Sebagian kecil dari organ tanaman seperti daun, tunas atau akar diambil untuk kemudian ditempatkan pada sebuah tabung steril yang didalamnya telah tersedia berbagai nutrisi dan hormon yang dibutuhkan untuk pertumbuhan. Agar bagian tanaman dapat tumbuh dengan baik,

tabung harus disimpan pada rak-rak khusus di dalam laboratorium dengan suhu dan kelembaban tertentu selama beberapa waktu hingga pada saatnya tanaman siap untuk dipindahkan ke lahan terbuka [1]. Dengan metode ini, perbanyak tanaman dapat dilakukan kapan saja (tidak tergantung musim) dalam waktu yang relatif singkat. Selain itu tanaman yang dihasilkan akan mempunyai sifat sama atau seragam dengan induknya sehingga banyak digunakan untuk kebutuhan penelitian dan konservasi tanaman. Hingga saat ini, umumnya evaluasi pertumbuhan tanaman hasil kultur jaringan yang masih berada di dalam tabung (in vitro) dilakukan secara kualitatif berdasarkan pengamatan visual sehingga sulit bagi peneliti untuk mendapatkan data yang akurat dan pengambilan keputusan untuk tindakan-tindakan tertentu secara objektif sulit dilakukan.

Untuk itu dibutuhkan sebuah metode yang dapat menjembatani kebutuhan peneliti akan data kuantitatif variabel-variabel pertumbuhan dengan kebutuhan tanaman akan lingkungan pertumbuhan yang stabil. Salah satu teknik yang dapat memfasilitasi kebutuhan tersebut adalah pengolahan citra digital [2–4]. Melalui teknik ini pertumbuhan tanaman dapat dipantau secara kuantitatif melalui citranya (*non-destructive evaluation*). Jika variabel-variabel pertumbuhan tanaman telah dapat dikuantifikasi secara otomatis, maka bukanlah hal yang mustahil jika kemudian fungsi peneliti untuk menjustifikasi kondisi tanaman juga diotomasi dengan menggunakan sistem cerdas. Untuk menentukan tindakan yang harus diambil, peneliti biasanya akan menjustifikasi keadaan tanaman dengan menggunakan perkiraan. Misalnya, peneliti menganggap akar yang terbentuk sangat sedikit, maka tindakan yang harus diambil adalah menambahkan auksin seperti IAA, NAA dan IBA pada media tanam dengan dosis tertentu tergantung seberapa parah kondisi tanaman.

Pada penelitian ini dikembangkan sebuah sistem pakar yang akan membantu peneliti di bidang teknologi kultur jaringan untuk melakukan evaluasi kondisi tanaman yang sedang diujicobakan secara kuantitatif. Input dari sistem adalah citra digital dari tanaman dilengkapi dengan beberapa informasi dari peneliti. Informasi yang diperoleh selanjutnya akan diolah oleh mesin inferensi yang berbasis pada logika fuzzy (*fuzzy inference system*) sehingga menghasilkan output berupa informasi tentang status kondisi tanaman dan rekomendasi tindakan penanganan dari kondisi tersebut.

Melalui beberapa penelitian sebelumnya telah diupayakan untuk melakukan evaluasi kondisi tanaman melalui citra digitalnya, namun masih terbatas pada kuantifikasi morfologi tanaman

sebagai output-nya, seperti luas dan warna daun serta tinggi tanaman [2–4]. Masih diperlukan justifikasi dari peneliti untuk memutuskan tindakan penanganan yang tepat untuk tanaman yang sedang diteliti. Hingga saat ini belum ada penelitian yang mengintegrasikan hasil kuantifikasi dari citra digital dengan pengetahuan tindakan penanganan yang sesuai.

Penjabaran hasil penelitian pada makalah ini diawali dengan latar belakang munculnya ide atau kebutuhan akan sistem pakar untuk evaluasi kondisi tanaman hasil kultur jaringan. Pada bagian selanjutnya diuraikan secara singkat beberapa teknik yang digunakan untuk membangun sistem, kemudian penjelasan tentang metode akuisisi pengetahuan yang diterapkan dilanjutkan dengan desain dari sistem yang dikembangkan dan diakhiri dengan hasil uji coba serta kesimpulan.

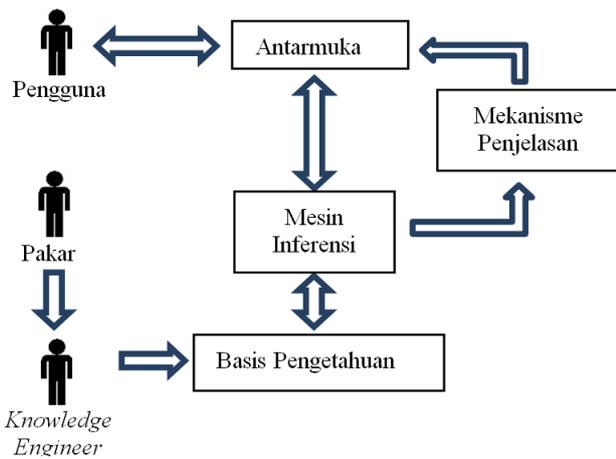
2. LANDASAN TEORI

2.1 Sistem Pakar

Sistem pakar merupakan sistem yang menggunakan pengetahuan manusia (biasanya kualitatif) yang disimpan di dalam komputer untuk menyelesaikan berbagai masalah yang umumnya membutuhkan keahlian dari manusia untuk menanganinya [5].

Komponen-komponen dari sebuah sistem pakar dan keterkaitannya dapat dilihat pada Gambar 1 [6]. Pengguna merupakan pihak yang membutuhkan saran ataupun panduan dari seseorang yang lebih ahli di bidang tertentu untuk menyelesaikan masalah yang dihadapinya. Pengguna dapat datang dari berbagai kalangan seperti pelajar, teknisi maupun peneliti pemula. Pengguna akan berinteraksi dengan komputer melalui sebuah antarmuka. Antarmuka akan mengantarkan informasi yang diberikan oleh pengguna untuk diolah oleh mesin inferensi dan selanjutnya mengantarkan jawaban dari mesin inferensi yang telah diproses oleh suatu mekanisme penjelasan kepada pengguna. Mesin inferensi akan memberikan jawaban dengan menggali basis pengetahuan. Pengetahuan yang disimpan dalam basis pengetahuan diperoleh dari pakar-pakar yang spesifik di bidang tertentu yang telah melalui proses penerjemahan dan penyesuaian oleh knowledge engineer.

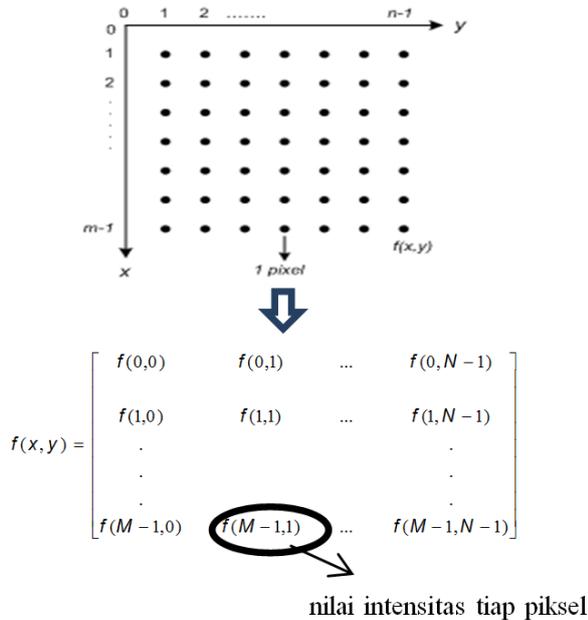
Aplikasi dari sistem pakar sangat luas, mulai dari bidang kesehatan, rekayasa sampai pada bidang pertanian. Beberapa aplikasi di bidang pertanian antara lain adalah untuk identifikasi penyakit tanaman [7] dan untuk membantu pemeliharaan tanaman dengan kontrol terhadap pertumbuhannya [8,9].



Gambar 1. Komponen Sistem Pakar

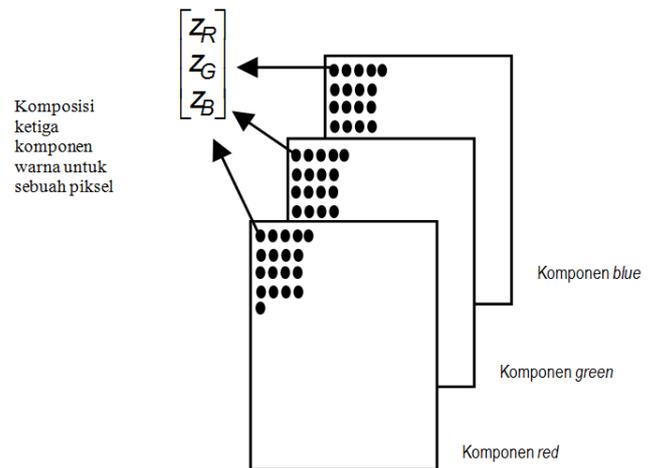
2.2 Citra Digital

Analisis terhadap sebuah citra dapat dilakukan dengan menggunakan bantuan komputer melalui sebuah sistem visual buatan yang biasa disebut dengan *computer vision*. Secara umum, tujuan dari sistem visual adalah untuk membuat model nyata dari sebuah citra. Untuk itu citra yang ditangkap oleh sensor yang masih dalam bentuk fungsi kontinu (analog) harus dirubah terlebih dahulu menjadi fungsi diskret (digital) yang dapat dibaca oleh komputer. Proses ini disebut sebagai digitasi, terdiri dari dua sub proses yaitu sampling dan kuantifikasi. Sebuah citra yang telah melalui proses digitasi disebut sebagai citra digital.



Gambar 2. Representasi Citra Digital

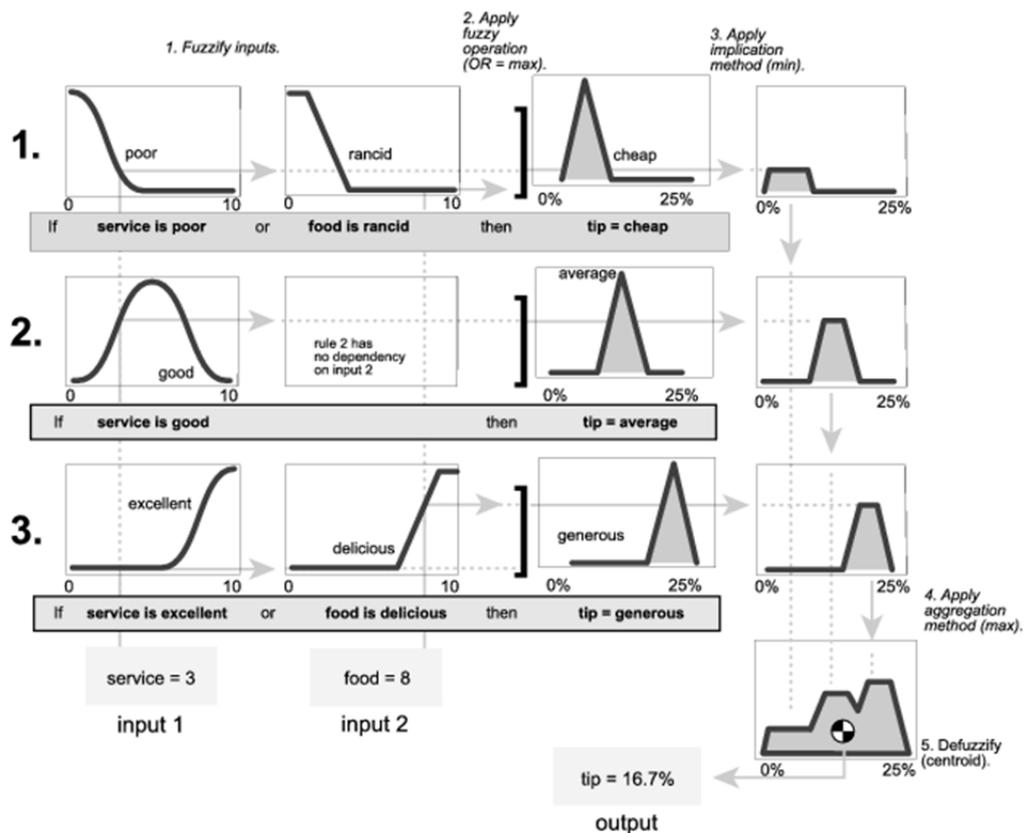
Citra digital biasa direpresentasikan sebagai sebuah fungsi dua dimensi $f(x,y)$, x dan y adalah koordinat spasial yang menunjukkan lokasi dari sebuah piksel didalam sebuah citra dan amplitudo dari f pada setiap pasangan koordinat (x,y) adalah intensitas dari citra pada piksel tersebut [10]. Untuk kebutuhan pengolahan dan analisis, representasi tersebut ditampilkan dalam bentuk matriks seperti pada Gambar 2. Empat tipe citra digital yang sering digunakan adalah citra intensitas, citra biner, citra indeks dan citra RGB. Citra RGB (*red, green, blue*), merupakan kumpulan dari 3 buah matriks 2 dimensi yang masing-masingnya memuat nilai intensitas (0 s.d. 255) untuk warna merah, hijau dan biru. Sebuah piksel merupakan komposisi dari ketiga nilai intensitas tersebut (triplet). Gambar 3 menunjukkan susunan komponen RGB untuk sebuah piksel sehingga menghasilkan citra berwarna.



Gambar 3. Susunan Komponen RGB untuk Sebuah Piksel Pada Citra Berwarna

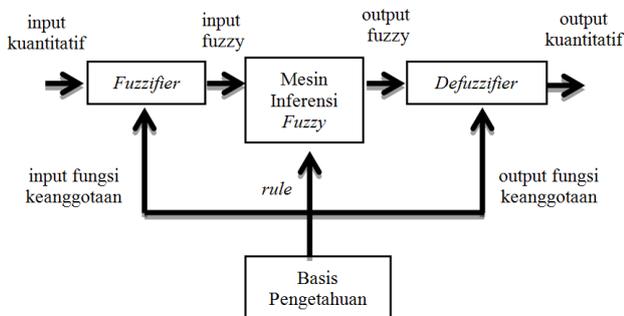
2.3 Sistem Inferensi Fuzzy

Fuzzy inference system (FIS) merupakan sebuah sistem yang menggunakan teori himpunan *fuzzy* untuk memetakan variabel-variabel input ke variabel output melalui serangkaian *rule*. Dalam sebuah sistem pakar variabel-variabel input adalah informasi-informasi yang diberikan oleh pengguna sedangkan variabel output adalah keputusan atau rekomendasi yang dikeluarkan oleh sistem. Baik variabel input maupun output berupa variabel kuantitatif. Proses inferensi dimulai dari memetakan variabel input maupun output kedalam himpunan fuzzy, selanjutnya mengaplikasikan operator-operator fuzzy dan juga metode implikasi untuk semua rule yang diterapkan, menggabungkan hasilnya (*aggregation*) dan akhirnya menetapkan kategori pada variabel output lengkap dengan nilai



Gambar 4. Ilustrasi Proses Inferensi dengan FIS

kuantitatifnya (*defuzzification*) [11, 12]. Ilustrasi proses FIS dapat dilihat pada Gambar 4 [12]. Sistem pakar yang mengaplikasikan FIS dalam mesin inferensinya sering disebut *fuzzy expert system*. Struktur dari sebuah *fuzzy expert system* dapat dilihat pada Gambar 5. Input maupun output adalah variabel kuantitatif yang dimodelkan dengan sebuah fungsi keanggotaan dan dihubungkan dengan beberapa *rule* yang merepresentasikan kondisi sistem yang sesungguhnya.



Gambar 5. Struktur Fuzzy Expert System

3. AKUISISI PENGETAHUAN

Sumber pengetahuan yang tersedia untuk kasus evaluasi pertumbuhan *in vitro* tanaman hasil kultur jaringan ini antara lain adalah keterangan-keterangan yang diberikan oleh peneliti dan laboran yang bekerja di laboratorium kultur jaringan ditunjang dengan pengetahuan-pengetahuan yang dimuat dalam text book dan juga perkembangan penelitian-penelitian yang dimuat dalam jurnal-jurnal bioteknologi. Untuk menggali informasi dari peneliti yang bekerja di laboratorium kultur jaringan, diterapkan teknik *Protocol Generation* sebagai berikut:

- (1) **Diskusi Masalah.** Menggali data, pengetahuan dan prosedur yang dibutuhkan untuk menangani berbagai kasus yang ditemui dalam melaksanakan teknik kultur jaringan. Untuk menyesuaikan waktu pertemuan dengan peneliti kultur jaringan, terlebih dahulu dibuat *time schedule* yang kemudian disepakati bersama sehingga aktivitas diskusi tidak mengganggu rutinitas kerja dari peneliti yang bersangkutan. Diskusi ini dapat disebut juga sebagai *unstructured interview*, tujuannya memang adalah untuk menggali sebanyak

mungkin informasi yang dapat diperoleh dari para peneliti kultur jaringan.

- (2) Observasi. Melihat peneliti menyelesaikan masalah secara langsung di laboratorium. Untuk itu dibutuhkan waktu khusus selama beberapa hari untuk mengamati proses di laboratorium kultur jaringan. Teknik observasi ini membutuhkan kejelian dan ketelitian dari *knowledge engineer* untuk dapat menangkap sebanyak-banyaknya fakta yang dilihatnya langsung di laboratorium.
- (3) Deskripsi Masalah. Peneliti di laboratorium kultur jaringan mendeskripsikan masalah dari setiap kategori penyelesaian ranah permasalahan. Digunakan semi *structured interview*, yang mana pada bagian ini hasil dari diskusi masalah dengan *unstructured interview* mulai dipilah-pilah dan beberapa informasi yang sekiranya cocok dengan sistem yang akan dibangun digali kembali dengan lebih detail, meskipun dalam proses penjelasannya peneliti-peneliti kultur jaringan masih dibebaskan untuk mengungkapkan sebanyak-banyaknya pengetahuan yang mereka miliki dalam bidang tersebut.
- (4) Analisa Permasalahan. Untuk melengkapi pengetahuan-pengetahuan yang telah diperoleh melalui observasi, diskusi dan deskripsi, *knowledge engineer* memberikan beberapa persoalan kepada pakar untuk diselesaikan penalarannya secara utuh. Pada bagian ini *knowledge engineer* membuat arahan-arahan yang jelas kepada para peneliti kultur jaringan sehingga pengetahuan-pengetahuan yang relevan dengan sistem dapat diperoleh dengan lengkap, sehingga teknik wawancaranya disebut juga dengan *structured interview*.

Dari proses akuisisi pengetahuan diperoleh informasi bahwa keputusan penanganan setiap tanaman *in vitro* yang ada dalam laboratorium dilakukan dengan mempertimbangkan faktor-faktor berikut: (1) Visualisasi kondisi tanaman, meliputi kondisi batang dan daun yang dijustifikasi dari warnanya; (2) Ada tidaknya indikasi serangan organisme lain seperti bakteri, jamur dan virus; (3) Pengaturan tempat penyimpanan tanaman yang meliputi komposisi media tanam, temperatur ruangan, dan pencahayaan; (4) Tujuan penyimpanan tanaman, apakah termasuk kategori jangka panjang, menengah atau pendek.

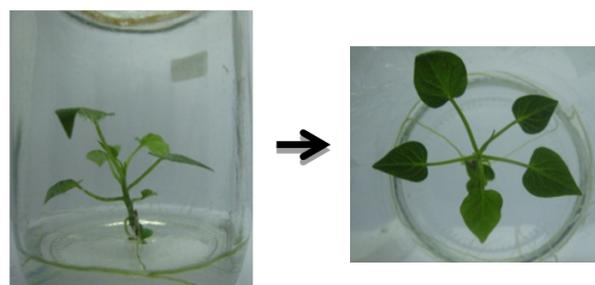
Formulasi dari visualisasi kondisi tanaman (akan diperoleh melalui teknik pengolahan citra digital) dengan informasi pendukung lainnya dituangkan dalam sebuah *repertory grid*.

4. DESAIN SISTEM

Secara umum terdapat dua komponen utama dalam sistem yaitu mesin pengolah citra digital otomatis dan sistem pakar yang berbasiskan logika *fuzzy*, skema dari rancangan sistem dapat dilihat pada Gambar 6. Visualisasi kondisi tanaman akan direkam dalam bentuk citra digital dan dimasukkan kedalam mesin pengolah citra oleh pengguna sedangkan data pendukung lainnya yaitu kemungkinan infeksi dari organisme luar, pengaturan tempat penyimpanan dan tujuan penyimpanan langsung dimasukkan oleh pengguna kedalam sistem pakar. Selanjutnya sistem pakar akan memproses semua input dari pengguna dan pengetahuan dari pakar menjadi rekomendasi tindakan penanganan.

4.1 Input Citra Digital

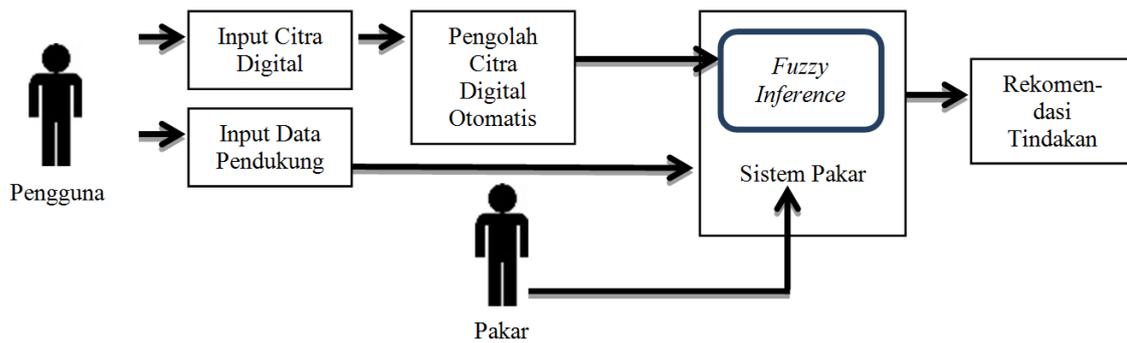
Citra yang akan dijadikan input pada sistem adalah citra bagian daun dan batang dari tanaman. Untuk mendapatkan citra tanaman yang sesuai dengan kebutuhan deteksi warna daun dan batang tanaman, pengambilan citra yang paling tepat adalah dari bagian atas tabung. Ini diketahui dari hasil percobaan pemotretan pada 9 posisi yaitu satu dari atas dan 8 dari samping dengan memutar tabung searah jarum jam. Dari percobaan tersebut diperoleh data bahwa pada citra tanaman yang dipotret dari atas tabung, jumlah daun yang dapat terlihat adalah sebanyak 66.2% dari total daun yang ada, sedangkan pada citra tanaman yang dipotret dari samping hanya terlihat 49.41% saja. Oleh karena itu citra tanaman hasil pemotretan dari atas tabung kemudian dijadikan sebagai citra input (Gambar 7).



Gambar 7. Contoh Citra Input

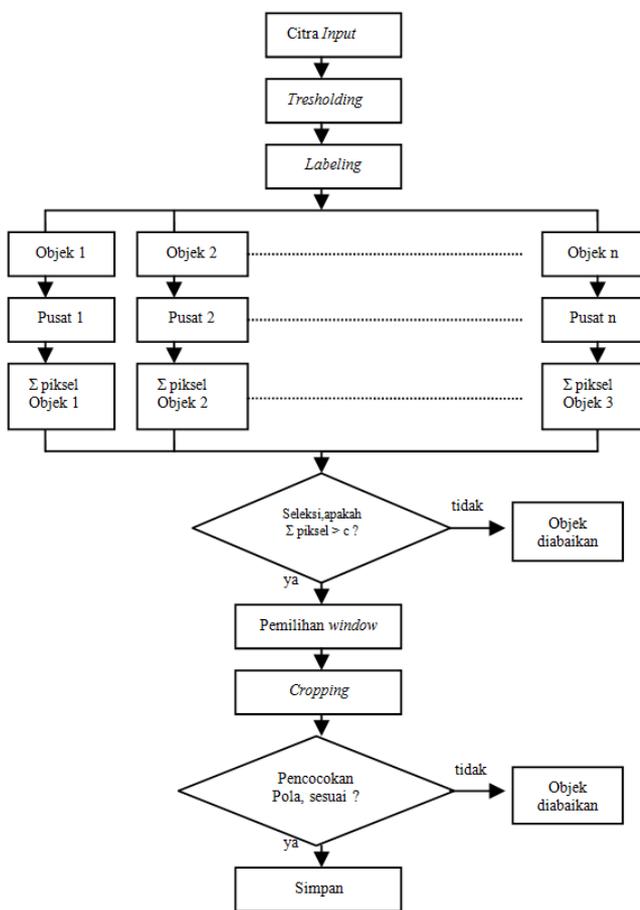
4.2 Pengolah Citra Digital Otomatis

Citra input kemudian diproses untuk menemukan posisi dari setiap daun dan batang secara parsial. Langkah pertama adalah mengubah citra menjadi bentuk biner untuk kemudian mengaplikasikan proses labeling sebagai metode



Gambar 6. Rancangan Sistem Pakar Evaluasi Pertumbuhan Tanaman In Vitro Hasil Kultur Jaringan

untuk mengidentifikasi secara otomatis bagian tubuh dari tanaman.



Gambar 8. Prosedur Pengolah Citra Input Secara Otomatis

Semua bagian yang ditemukan dari proses labeling selanjutnya diseleksi ukurannya untuk kemudian masuk kedalam proses pencocokan pola. Selanjutnya diputuskan mana bagian tumbuhan yang layak untuk dianalisa pada tahap berikutnya dan mana yang tidak. Bagian tumbuhan yang dinyatakan

layak kemudian disimpan dalam database untuk diolah lebih lanjut dalam mesin inferensi fuzzy. Prosedur pengolahan citra input secara otomatis dapat dilihat pada Gambar 8.

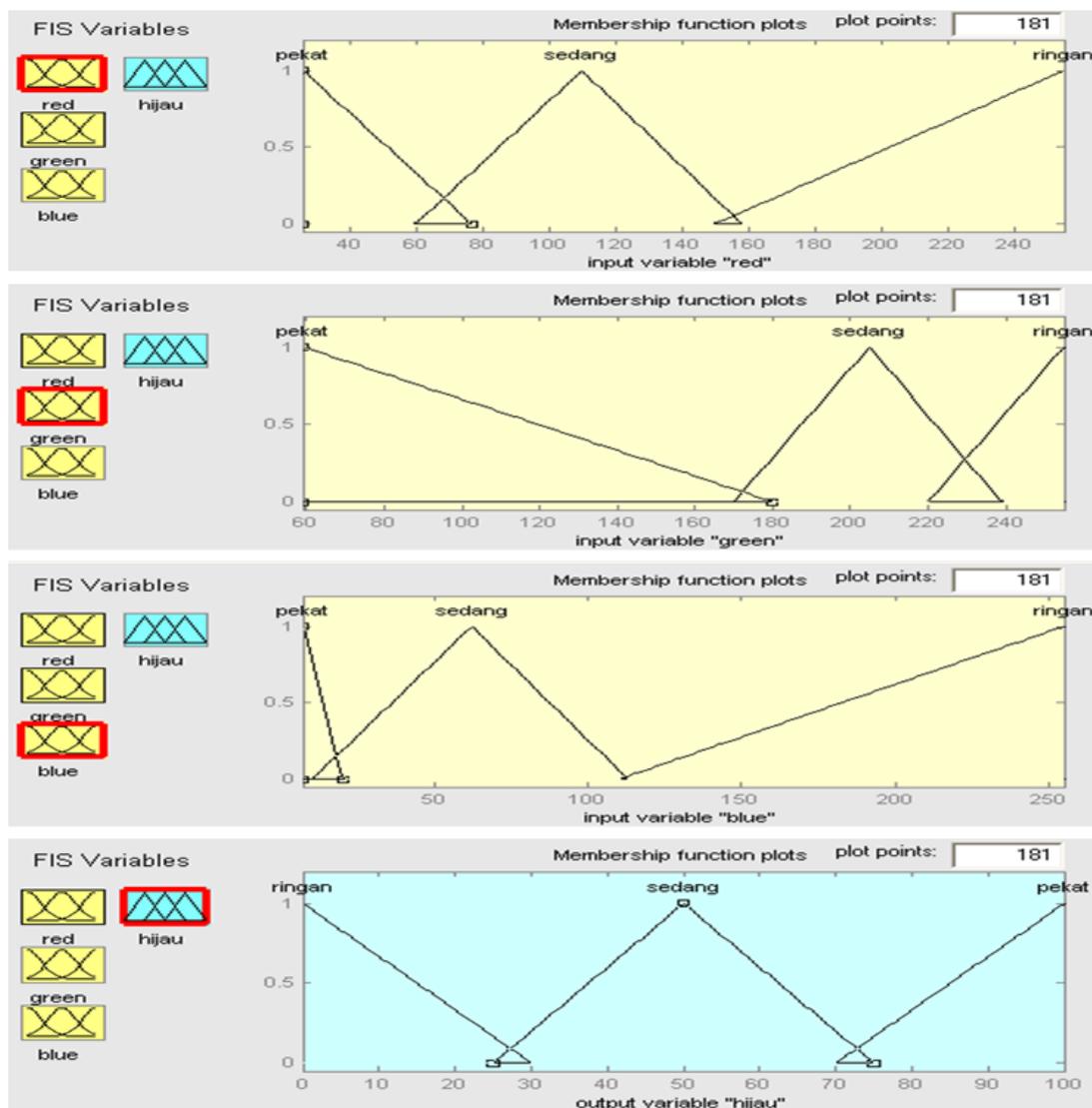
Untuk mempercepat proses pencocokan diterapkan ekstraksi ciri dengan menggunakan histogram grayscale dan spektrum *Fourier* [13]. Untuk setiap bagian tumbuhan yang telah ada dalam database dicari nilai kemiripan histogram grayscale dan spektrum *Fourier*-nya dengan data pelatihan yang ada menggunakan *kullback discriminant* (Persamaan 1) dan jarak mahalanobis (Persamaan 2). Kedua nilai kemiripan tersebut kemudian diurutkan menaik, seleksi dilakukan dengan terlebih dahulu menetapkan batas nilai yang ditoleransi. Semua bagian tumbuhan yang nilai kemiripannya kurang dari batas tersebut dipilih dengan *voting*. Artinya, bagian tumbuhan yang dipilih untuk digunakan pada tahap selanjutnya adalah bagian tumbuhan yang dipilih baik oleh ciri pertama maupun ciri kedua.

$$K(I, M) = \sum_{i=1}^n i_{ic} \log \frac{i_{ic}}{m_{ic}} \quad (1)$$

$$d(y, m_x) = (y - m_x)^T C_x^{-1} (y - m_x) \quad (2)$$

4.3 Mesin Inferensi Fuzzy

Untuk evaluasi warna daun dan batang, informasi yang diekstraksi dari citra adalah intensitas warna hijau dan coklatnya. Intensitas warna ini kemudian diubah dalam bentuk variabel linguistik Pekat, Sedang dan Ringan mengingat pada saat melakukan justifikasi kondisi visual tanaman, para peneliti kultur jaringan tidak pernah menggunakan angka yang eksak tetapi hanya dalam bentuk perkiraan secara linguistik. Gambar 9 menunjukkan model inferensi fuzzy untuk warna hijau sedangkan Gambar 10 menunjukkan model inferensi fuzzy untuk warna coklat. Variabel input adalah komponen *red*, *green* dan *blue* dari format warna RGB. *Rule-*



Gambar 9. Model Fungsi Keanggotaan Fuzzy untuk Warna Daun dan Batang Tanaman Warna Hijau

rule yang digunakan pada sistem inferensi tersebut adalah sebagai berikut:

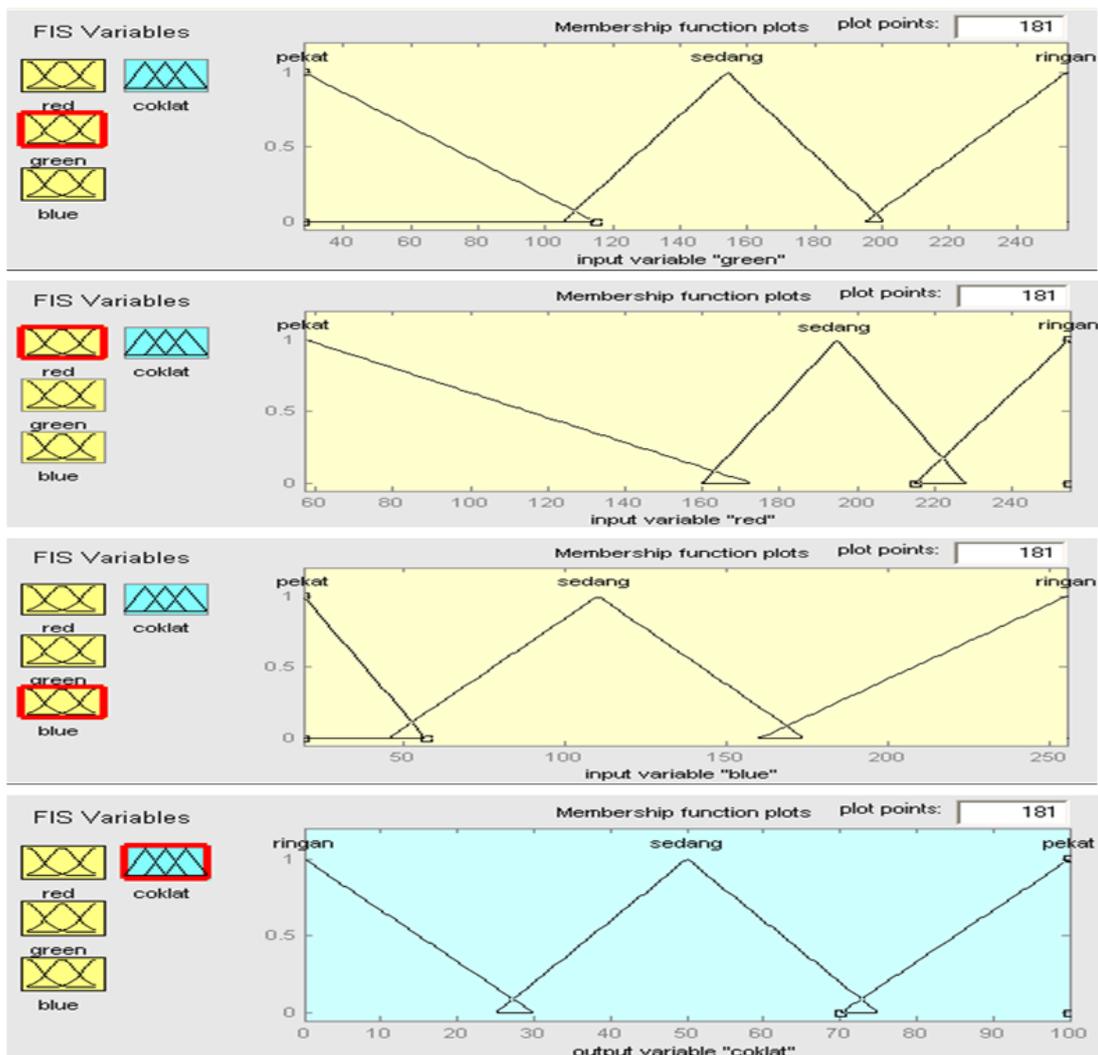
- IF (red is pekat) and (green is pekat) and (blue is pekat) then (hijau is pekat)
- IF (red is sedang) and (green is sedang) and (blue is sedang) then (hijau is sedang)
- IF (red is ringan) and (green is ringan) and (blue is ringan) then (hijau is ringan)
- IF (red is pekat) and (green is pekat) and (blue is pekat) then (coklat is pekat)
- IF (red is sedang) and (green is sedang) and (blue is sedang) then (coklat is sedang)
- IF (red is ringan) and (green is ringan) and (blue is ringan) then (coklat is ringan)

Justifikasi visualisasi daun dan batang tanaman dilakukan dengan mengikuti kaidah berikut :

- Sangat sehat, daun dan batang berwarna hijau tua dan tidak terjadi etiolasi (warna pucat karena kurang cahaya)
- Sehat, daun dan batang berwarna hijau dengan sedikit etiolasi
- Normal, daun atas dan batang berwarna hijau dengan sedikit etiolasi
- Kurang sehat, sebagian besar daun dan batang berwarna coklat
- Tidak sehat, seluruh daun dan batang berwarna coklat
- Tidak ada tanda kehidupan, seluruh daun dan batang berwarna coklat

4.4 Data Pendukung

Selain kondisi warna daun dan batang yang diperoleh dari citra tanaman, dibutuhkan beberapa



Gambar 10. Model Fungsi Keanggotan Fuzzy untuk Warna Daun dan Batang Tanaman Warna Coklat

informasi lain yang digunakan untuk dapat memutuskan rekomendasi tindakan yang harus diambil. Informasi-informasi lain yang harus dimasukkan oleh pengguna adalah:

- (1) Jumlah akar yang terbentuk, terbagi menjadi 5 kondisi yaitu banyak (91% s.d. 100%), agak banyak (71% s.d. 90%), sedang (51% s.d. 70%), agak sedikit (26% s.d. 50%) dan sedikit (0 s.d. 25%)
- (2) Ada tidaknya indikasi serangan organisme lain yaitu bakteri, jamur dan virus
- (3) Tujuan penyimpanan, tujuan penyimpanan tanaman terbagi menjadi 3 yaitu tujuan konservasi disebut juga penyimpanan jangka panjang (lebih dari 2 tahun), tujuan pengamatan disebut juga penyimpanan jangka menengah (1 sampai dengan 2 tahun) dan tujuan produksi masal disebut juga penyimpanan jangka pendek (kurang dari 1 tahun)

- (4) Tempat penyimpanan, terdiri dari temperatur, pencahayaan dan lamanya pencahayaan. Temperatur terbagi menjadi tiga kondisi yaitu rendah (4° C s.d. 10° C), sedang (11° C s.d. 20° C) dan tinggi (21° C s.d. 30° C). Pencahayaan juga terbagi dalam tiga kondisi yaitu rendah (kurang dari 600 lux), sedang (600 s.d. 1000 lux) dan tinggi (lebih dari 1000 lux). Demikian pula dengan lamanya pencahayaan yang terbagi atas cepat (kurang dari 12 jam), sedang (12 jam) dan lama (lebih dari 12 jam).

Hasil dari mesin inferensi fuzzy selanjutnya digabungkan dengan data-data pendukung tersebut melalui *rule-rule* dengan menerapkan pembobotan yang berbasis *certainty factor*. Berikut adalah salah satu contoh *rule* yang merupakan hasil penggabungan antara keluaran dari mesin inferensi fuzzy dengan data pendukung lainnya:

Results	
Subkultur, pindahkan tanaman ke media baru yang kadar gel-nya lebih tinggi namun kadar sitokinin lebih rendah	.385
Tambahkan ancymidol dan paclobutrazol 0.1 s.d. 0.5 mg/liter	.385
Ubah pencahayaan menjadi tinggi yaitu lebih dari 1000 lux dan ubah temperatur menjadi rendah yaitu 4 s.d. 10 derajat celcius	.385

Gambar 11. Contoh Tampilan Rekomendasi

IF (Hijau Daun is pekat) and
 (Coklat Daun is ringan) and
 (Hijau Batang is sedang) and
 (Coklat Daun is ringan) and
 (Akar is agak banyak) and
 (Infeksi is tidak ada) and
 (Simpan is pendek) and
 (Temperatur is renah) and
 (Cahaya is rendah) and
 (Lama Cahaya is cepat)
 THEN
 (temperatur diubah menjadi tinggi),
 CF = 0.8

4.5 Rekomendasi Tindakan

Secara garis besar terdapat 5 kemungkinan tindakan yang dapat dikenakan pada tanaman, yaitu:

(1) Melakukan subkultur

Subkultur adalah tindakan mengambil organ dari tanaman yang sudah tumbuh di tabung pertumbuhan untuk kemudian diletakkan di tabung yang baru dengan media tanam yang baru pula. Subkultur dilakukan jika terjadi hal-hal berikut :

- Browning, tanaman berubah warna menjadi coklat. Hal ini terjadi akibat adanya persenyawaan-persenyawaan polifenolik yang keluar dari bekas irisan. Saat dilakukan subkultur ada beberapa tindakan khusus yang perlu juga dilakukan.
- Ada gejala vitrous, daun dan batang menjadi lunak, agak transparan akibat kurang lignin. Sebagaimana untuk gejala browning, ada tindakan khusus yang harus dilakukan saat melakukan subkultur.
- Pucuk albino, yaitu kondisi dimana pucuk tanaman tidak berwarna hijau sebagaimana mestinya
- Kontaminasi jamur, pada kondisi ini sebagian kecil media tanam dipenuhi oleh jamur yang terbawa oleh udara akibat

kurang sterilnya lingkungan saat dilakukan pemindahan eksplan.

- Penambahan zat kimia tertentu kedalam media tanam
 Dilakukan bila diketahui tanaman tidak menunjukkan gejala pertumbuhan setelah selang waktu tertentu namun tanaman juga tidak menunjukkan gejala mati. Biasanya kondisi ini ditandai dengan tidak terbentuknya akar meskipun daun dan batangnya tetap berwarna hijau, atau akar yang terbentuk sangat sedikit.
- Pemusnahan
 Dilakukan bila tanaman tidak menunjukkan tanda-tanda kehidupan atau tanaman terkontaminasi jamur dalam jumlah yang sangat banyak
- Penyesuaian tempat penyimpanan
 Dilakukan untuk tanaman yang menunjukkan gejala kurang sehat, namun tidak ada indikasi terkontaminasi jamur, browning, defisiensi, vitrous ataupun pucuk albino. Kemungkinan penyebabnya adalah hanya ketidaksesuaian pengaturan lingkungan laboratorium tempat penyimpanan tanaman tersebut seperti pengaturan suhu, pencahayaan dan lamanya pencahayaan dalam satu hari
- Tidak dilakukan tindakan apapun
 Untuk tanaman yang sangat sehat atau sehat, tidak ada gejala serangan jamur, virus dan bakteri dan tujuan penyimpanan dengan pengaturan tempat penyimpanannya telah sesuai

Rekomendasi tindakan diperoleh dengan menggunakan metode inferensi *forward chaining*. Gambar 11 adalah contoh tampilan rekomendasi tindakan yang diberikan untuk sebuah kasus tertentu.

5. UJI COBA SISTEM

Sistem evaluasi tanaman *in vitro* hasil kultur jaringan ini diuji coba dengan menggunakan masing-masing 20 kasus untuk setiap rekomendasi tindakan penanganan yang mungkin diberikan.

Tabel I. Ringkasan Hasil Uji Coba Sistem

No	Rekomendasi Tindakan	Keberhasilan
1	Subkultur	85%
2	Penambahan zat kimia tertentu	75%
3	Pemusnahan	93%
4	Penyesuaian tempat penyimpanan	95%
5	Tidak perlu tindakan apapun	98%
Rata-Rata		89.2%

Tabel I menunjukkan ringkasan dari hasil uji coba tersebut. Persentase keberhasilan dihitung dengan cara membagi total kasus yang diamati dengan kasus yang berhasil diputuskan dengan tepat. Keputusan dianggap tepat apabila rekomendasi tindakan dengan nilai *certainty* tertinggi adalah tindakan yang sama sebagaimana yang direkomendasikan oleh sebagian besar peneliti (pada kasus ini digunakan 3 orang peneliti sebagai panelis).

Dari hasil uji coba diketahui bahwa rata-rata tingkat keberhasilan adalah 89.2%. Nilai ini dinilai telah cukup memuaskan mengingat keputusan untuk pengambilan tindakan cukup tinggi variasinya.

6. KESIMPULAN

Teknologi dan algoritma pengolahan citra digital memungkinkan justifikasi warna dilakukan secara otomatis sedangkan desain sistem pakar yang berbasis inferensi *fuzzy* memungkinkan koleksi pengetahuan secara komprehensif tentang penanganan tanaman in vitro hasil kultur jaringan dari pakar, dengan demikian peneliti lain dapat memanfaatkannya untuk memperoleh rekomendasi penanganan tanaman yang lebih akurat. Satu lagi keunggulan dari sistem ini adalah peneliti dapat terfasilitasi untuk melakukan justifikasi kondisi warna tanaman secara lebih objektif. Hasil uji coba menunjukkan bahwa rekomendasi yang diberikan oleh sistem cukup memuaskan dengan rata-rata keakuratan rekomendasi penanganan mencapai 89%.

Daftar Pustaka

- [1] E. F. George, M. A. Hall, and G.-J. D. Klerk, *Plant Propagation by Tissue Culture*, 3rd ed. Springer, 2010.
- [2] M. Smith, L. Spomer, M. Meyer, and M. Mc.Clelland, "Non-invasive image analysis evaluation of growth during plant micropropagation," *Plant Cell Report, Tissue and Organ Culture*, vol. 19, pp. 91–102, 1989.
- [3] J. Vizi, A. Ferenczy, and M. Umeda, "K. biometrical approaches for mandarin leaf image analysis," *Applied Ecology and Environmental Research*, vol. 2, no. 1, pp. 119–134, 2004.
- [4] H. M. Aynalem, T. L. Righetti, and B. M. Reed, "Non-destructive evaluation of in vitro-stored plants : A comparison of visual and image analysis," *In Vitro Cell. Dev.Biol-Plant*, vol. 42, pp. 562–567, 2006.
- [5] J. E. Aronson, T.-P. Liang, R. Sharda, and E. Turban, *Decision Support and Business Intelligence Systems*, 8th ed. Pearson International Edition, 2007.
- [6] M. F. Azeem, *Fuzzy Inference System, Theory and Application*. InTech, 2012.
- [7] S. K. Sarma, K. R. Singh, and A. Singh, "An expert system for diagnosis of diseases in rice plant," *International Journal of Artificial Intelligent and ExpertSystems (IJAE)*, vol. 1, no. 2, pp. 26–31, 2010.
- [8] C.-L. Chang and M.-F. Sie, "A multistaged fuzzy logic scheme in a biobotanic growth regulation system," *HortScience*, vol. 47, pp. 762–770, 2012.
- [9] W.-L. Ding, F. lun Xiong, and Z. jun Cheng, "Study and implementation of the expert system for greenhouse tomato planting," in *Proceedings of the Third International Conference on Information Technology and Applications (ICITA'05)*, vol. 2. IEEE Computer Society, Washington DC, USA, 2005, pp. 325–329.
- [10] R. C. Gonzalez, R. E. Woods, and S. L. Eddins, *Digital Image Processing using MATLAB*. Prentice Hall New Jersey, 2004.
- [11] W. Siller and J. J. Buckley, *Fuzzy Expert System and Fuzzy Reasoning*. John Wiley and Sons Inc, 2005.
- [12] Mathworks, "Fuzzy inference process," 2012.
- [13] K. R. Prilianti, A. Buono, Sutoro, and I. Hermadi, "Quantification method for in-vitro tissue culture plants morphology using object tracking and digital image analysis," in *Proceeding : The International Conference on Advanced Computational Intelligence and Its Application (ICACIA)*, 2008, pp. 39–44.