

**LAPORAN PENELITIAN  
SKEMA DANA DIPA FAKULTAS  
TEKNOLOGI PERTANIAN**



**JUDUL**

**IDENTIFIKASI UMUR TANAMAN TOMAT (*LYCOPERSICON ESCULENTUM*)  
DENGAN KOMPUTER *IMAGING* BERDASARKAN INFORMASI *BIO-METRIC*  
DARI SIFAT MORFOLOGI DAUN**

Oleh:

**Dr. Eng. MUHAMMAD MAKKY, STP, MSi.    0001107901    Ketua Tim Pengusul**

**Dibiayai Dana DIPA Fakultas Teknologi Pertanian Tahun Anggaran 2015, sesuai  
dengan surat perjanjian penelitian No. 01r/PL/DF-DIPA/FATETA-2015**

**Program Studi Teknik Pertanian  
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN**

**Tahun 2015**

**HALAMAN PENGESAHAN LAPORAN HASIL  
PENELITIAN DANA DIPA FATETA 2015**

1. Judul Penelitian : Identifikasi umur tanaman tomat (*lycopersicon  
esculentum*) dengan komputer imaging berdasarkan  
informasi bio-metric dari sifat morfologi daun
2. Bidang Penelitian : Teknik Pertanian (164)
3. Ketua Peneliti :
- a. Nama Lengkap dan Gelar : Dr. Eng. Muhammad Makky, STP, MSi
- b. Jenis Kelamin : L
- c. NIP / NIDN : 19791001 2006041002 / 0001107901
- d. Pangkat dan Golongan : Penata Muda Tk.1/IIIb
- e. Jabatan Struktural :
- f. Jabatan Fungsional : Asisten Ahli
- g. Program Studi/Jurusan : Teknik Pertanian/ Teknik Pertanian
- h. Alamat Kantor/Telp/Fax/Email : Program Studi Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi  
Pertanian, Universitas Andalas. Padang 25163,  
Sumatera Barat/0751-  
777413/muh\_makky@yahoo.com
- i. Alamat Rumah/Telp/Fax/Email : Jl Raya STO Limau Manis, Samping PGSLB UNP,  
Pauh, Padang, 25163, Sumatera  
[Barat/08128463169/muh\\_makky@yahoo.com](mailto:muh_makky@yahoo.com)
4. Jumlah Anggota Peneliti : -
5. Lokasi Penelitian : Limau Manis, Padang
6. Jangka Waktu Penelitian : 5 (lima) bulan
7. Jumlah Biaya yang disusulkan : Rp. 4,000,000 (Empat juta rupiah)

Mengetahui:  
Ketua Prodi Teknik Pertanian

Padang, 27 Oktober 2015  
Ketua Tim Pengusul

**Dr. Andasuryani, STP, MSi**  
NIP. 19730411998022001

**Dr. Eng. Muhammad Makky, STP, MSi**  
NIP. 19791001 200604 1002

Menyetujui:  
Dekan Fakultas Teknologi Pertanian  
Universitas Andalas

**Prof. Dr. Ir. Santosa, MP**  
NIP 196407281989031003

## SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Dr. Eng. Muhammad Makky, STP, MSi  
NIP / NIDN : 19791001 2006041002 / 0001107901  
Pangkat/Golongan : Penata Muda Tk.1/III-b  
Jabatan Fungsional : Asisten Ahli  
Alamat : Jl Raya STO Limau Manis, Samping PGSLB UNP, Pauh, Padang,  
25163, Sumatera Barat / Telp. 08128463169 /  
Email: muh\_makky@yahoo.com

Dengan ini menyatakan bahwa penelitian saya dengan judul “Identifikasi umur tanaman tomat (*lycopersicon esculentum*) dengan komputer imaging berdasarkan informasi bio-metric dari sifat morfologi daun” yang dibiayai pada skim penelitian skema dana dipa fakultas untuk tahun anggaran 2015 **belum pernah dibiayai oleh lembaga / sumber dana lainnya.**

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidak sesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia dituntut dan diproses sesuai dengan ketentuan yang berlaku dan mengembalikan seluruh biaya penelitian yang sudah diterima ke kas negara.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan sesungguhnya dan dengan sebenar-benarnya.

Padang, 27 Oktober 2015

Mengetahui  
Kepala, Unit Penelitian Pengabdian  
Kepada Masyarakat Paten dan Kerjasama

Yang menyatakan

**Dr. Ir. Erigas Ekaputra, MS**  
NIP. 19621205 1993021001

**Dr. Eng. Muhammad Makky, STP, Msi**  
NIP. 197910012006041002

## ABSTRAK

Setiap individu biologis memiliki ciri fisik dan bentuk yang spesifik, dan dapat digunakan untuk mengidentifikasi sifat dan karakteristik dari individu tersebut. Saat tanaman tersebut tumbuh, ciri dan bentuk serta morfologinya berubah, yang dapat dilihat secara visual maupun dengan perangkat kamera atau alat optis lainnya. Perubahan dan transformasi morfologi ini dapat dikategorikan sebagai biometrik tipe multimodal. Pada penelitian ini, tanaman tomat dari cultivar lokal dibudidayakan dalam sebuah rumah kaca tipe net house, di daerah Sumatra barat. Tanaman ditanam pada media yang telah dipersiapkan dengan komposisi sebagai berikut: Tanah, sekam, dan pupuk, masing masing memiliki porsi seimbang, yaitu 1:1:1. Agar tanaman tumbuh optimal, penyiraman dilakukan secara teratur, dan proteksi tanaman terhadap hama penyakit dan gulma dilakukan. Pengamatan tanaman dilakukan pada umur tanam 21, 42, dan 63 hari. Sampel yang diamati adalah daun kedua dari akar tanaman, yang telah berkembang sempurna. Daun tersebut berbentuk daun majemuk. Citra daun direkam menggunakan pemindai digital dengan resolusi diatur sebesar 300 titik per satuan inchi luas. Citra selanjutnya diproses menggunakan program pengolahan citra digital. Segmentasi citra dilakukan untuk memisahkan latar belakang dari citra. Kemudian kedalaman warna hijau dari daun di ukur oleh citra dalam skala warna Red-Green-Blue (merah-hijau-biru). Ukuran dan dimensi daun diukur menggunakan citra digital, juga panjang tulang daun utama, serta dua tulang daun sekunder. Sudut yang terbentuk antara tulang daun sekunder tersebut dengan tulang daun utama juga diukur. Semua data dari parameter tersebut selanjutnya diolah menggunakan program pengolahan data statistik untuk menentukan parameter utama dari daun yang paling sesuai untuk dijadikan acuan penentuan umur tanaman tersebut. Analisa statistik yang digunakan adalah *Principal component analysis* (PCA). Data hasil analisa PCA menunjukkan beberapa parameter terpenting dari ciri morfologi daun. Analisa statistik kedua dilakukan menggunakan metode analisa kluster *K-means* yang menunjukkan korelasi positif dari empat parameter utama dengan umur tanaman. Hasil penelitian menunjukkan bahwa besar perubahan morfologi daun tanaman tomat berbanding lurus dengan umur dari tanaman tersebut.

Kata kunci: Nondestruktif; Daun Tomat; Citra digital; Biometrik; Morfologi Daun.

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT atas terselesaikannya kegiatan penelitian “Identifikasi umur tanaman tomat (*Lycopersicon esculentum*) dengan komputer imaging berdasarkan informasi bio-metric dari sifat morfologi daun” ini. Laporan penelitian yang ditulis ini menjabarkan metode serta tahap tahap penelitian yang telah dilaksanakan. Hasil penelitian yang dilaksanakan menunjukkan temuan baru, terutama teknik pendugaan umur tanaman tomat berdasarkan ukuran geometris daun, sebagai ciri biometrik yang digunakan sebagai parameter acuan. Model yang dikembangkan ini dapat diujicobakan pada berbagai tanaman tomat sejenis, dengan penyesuaian pada model.

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada pihak Fakultas Teknologi Pertanian yang telah membiayai penelitian ini melalui Dana DIPA Fakultas Teknologi Pertanian Tahun Anggaran 2015, sesuai dengan surat perjanjian penelitian **No. 01r/PL/DF-DIPA/FATETA-2015**. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada seluruh pihak yang mendukung tercapainya hasil penelitian ini, terutama kepada mahasiswa bimbingan yang turut berpartisipasi pada kegiatan ini.

Kritik dan saran sangat diharapkan oleh penulis agar laporan penelitian ini dapat lebih disempurnakan kembali. Semoga laporan penelitian ini dapat bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, khususnya di bidang pertanian, demi mendukung program swasembada dan kedaulatan pangan nasional.

Padang, 28 Oktober 2015

M. M

## DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	4
KATA PENGANTAR .....	5
DAFTAR ISI.....	6
DAFTAR TABEL.....	7
DAFTAR GAMBAR .....	8
DAFTAR LAMPIRAN.....	9
I. PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	1
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Manfaat Penelitian.....	2
1.5 Luaran Penelitian.....	2
II. TINJAUAN PUSTAKA .....	4
2.1 Tanaman Tomat ( <i>Solanum lycopersicum</i> ).....	4
2.2 Morfologi dan Biometrics Tanaman Tomat.....	6
2.3 Deformasi daun tomat .....	7
2.4 Pemanfaatan teknologi computer-vision untuk identifikasi tanaman berdasarkan morfologi dan biometrics daun .....	8
III. METODE PENELITIAN.....	10
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian .....	10
3.2 Peralatan dan Bahan Penelitian .....	10
3.3 Tahapan Penelitian .....	10
3.4 Analisa statistika .....	12
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	13
4.1 Hasil Penelitian .....	13
4.2 Pembahasan.....	21
5.1 Kesimpulan.....	24
5.2 Saran.....	24
DAFTAR PUSTAKA .....	25

## DAFTAR TABEL

Tabel 1. Dimensi dan ukuran data biometrik multimodal dari daun tanaman sampel berdasarkan umur tanaman	15
Tabel II. Rata rata dan simpangan baku dimensi geometris daun yang diamati berdasarkan waktu pengamatan dan umur tanaman.	16

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1.</b> Tanaman tomat berbentuk rumpun. (Sumber: <a href="http://www.dobies.co.uk/">http://www.dobies.co.uk/</a> ).....	4
<b>Gambar 2.</b> Buah tomat dan penampakan melintang bagian buah (Sumber: <a href="https://en.wikipedia.org/">https://en.wikipedia.org/</a> ).....	5
<b>Gambar 3.</b> Daun tanaman tomat beserta bagiannya (Sumber: Rost, 1996) .....	5
<b>Gambar 4.</b> Berbagai anomaly dan deformasi daun pada tanaman tomat disebabkan kekurangan unsur hara (Sumber: Wirz dan Richter, 2007) .....	7
<b>Gambar 5.</b> Berbagai perubahan bentuk daun tanaman tomat akibat stres pada tanaman (Sumber: RHS, 2014) .....	8
<b>Gambar 6.</b> Lima buah daun tunggal dari setiap cabang daun tanaman tomat yang di potong dijadikan objek pengamatan menggunakan pemindai digital ( <i>Scanner</i> ) tipe mendatar ( <i>flatbed</i> ) untuk diukur dimensi geometrisnya. ....	13
<b>Gambar 7.</b> Program pengolahan citra digital yang dikembangkan untuk melakukan operasi segmentasi dan perhitungan data geometris daun pada penelitian ini. Program dikembangkan menggunakan bahasa pemrograman C# dan dikhususkan untuk proses analisa Multimodal Biometric pada daun tomat.....	14
<b>Gambar 8.</b> Dimensi Geometri dari daun tanaman tomat yang dijadikan sebagai parameter Biometrik pada penelitian ini, meliputi lebar daun (A); panjang daun dengan tangkai (B); panjang tulang daun utama (C); panjang tulang daun pertama (D); dan sudut yang terbentuk dengan tulang daun utama (F); panjang tulang daun kedua (E); dan sudut yang terbentuk dengan tulang daun utama (G). ....	14
<b>Gambar 9.</b> Dimensi geometris dari daun tanaman tomat yang diamati, diukur seiring dengan pertumbuhan tanaman yang dihitung dengan jumlah hari setelah tanam. Daun yang diamati adalah daun primer (Gambar 6), dan dimensi geometris berdasarkan angka A sampai E adalah sesuai dengan Gambar 8. ....	17
<b>Gambar 10.</b> Grafik menunjukkan jumlah variasi total dari parameter geometric daun yang dapat diwakilkan oleh komponen utama dari hasil analisa PCA sesuai dengan umur tanaman saat pengamatan dilakukan. ....	19
<b>Gambar 11.</b> Plot grafik komponen utama dari PCA setelah dirotasi menggunakan teknik <i>vari-max</i> . Kedua komponen utama (PC1 dan PC2) digunakan untuk mewakili parameter dari dimensi geometric daun dalam menentukan umur tanaman saat pengamatan hari ke 21. ....	20
<b>Gambar 12.</b> Plot grafik komponen utama dari PCA setelah dirotasi menggunakan teknik <i>vari-max</i> . Kedua komponen utama (PC1 dan PC2) digunakan untuk mewakili parameter dari dimensi geometric daun dalam menentukan umur tanaman saat pengamatan.hari ke 63. ....	21

## DAFTAR LAMPIRAN

**Lampiran 1.** Dokumentasi Penelitian

29

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Produksi tomat di Sumatera barat mencapai lebih dari 75,000 ribu ton setiap tahunnya dan dengan pertumbuhan produksi lebih dari 10% setiap tahunnya (BPS, 2014). Jumlah ini menempatkan Sumatera Barat sebagai provinsi dengan produksi tomat terbesar ketiga setelah Jawa Barat dan Sumatera Utara (Deptan, 2014). Namun demikian, sebagian besar petani tomat di Sumatera Barat belum mendapat perhatian yang cukup dari pemerintahan daerahnya, dan terbukti dengan turunnya jumlah produksi tomat di provinsi sebesar lebih dari 5% pada tahun terakhir (BPS, 2014; Deptan, 2014).

Secara mandiri, sebenarnya para petani selalu berupaya untuk meningkatkan hasil panen mereka dengan pemberian pupuk dan pestisida pada tanaman. Namun demikian, dosis yang mereka berikan sebagian besar tidak tepat dan cenderung berlebihan, sehingga dampak dari zat kimia yang dikandung oleh pupuk maupun pestisida malah memberikan efek negatif pada tanaman, berupa perlambatan pertumbuhan, gagalnya proses pembuahan pada tanaman, serta rusaknya hasil produksi secara keseluruhan (Zamri, 2014; LMGGA AGRO, 2014). Untuk itu diperlukan suatu usaha untuk meningkatkan kembali produksi komoditi ini di daerah Sumatera Barat, salah satunya adalah dengan penerapan aplikasi teknologi yang dapat menentukan umur tanaman dengan tepat, sehingga pemberian dosis pupuk dan pestisida dapat diberikan dengan akurat.

Seiring dengan pertumbuhan, maka kebutuhan tanaman unsur hara berubah sesuai dengan fase tumbuh tanaman tersebut (Triyadi, 2011). Untuk mengetahui fase tumbuh, maka umur tanaman tomat dapat dihitung mulai dari proses perkecambahan, yang ditandai dengan keluarnya daun kotiledon secara sempurna (Makky et al., 2014a). Namun demikian, berdasarkan realitas dilapangan, bibit tanaman yang digunakan oleh petani umumnya berasal dari berbagai sumber, sehingga keseragaman umur tanaman ini tidak tercapai. Oleh karena itu diperlukan suatu cara agar umur tanaman tomat dapat diketahui dengan tepat tanpa mengetahui kapan proses penyemaian terjadi.

### 1.2 Rumusan Masalah

Seperti halnya makhluk hidup lainnya, umur suatu tanaman dapat dilihat dari ciri ciri fisiologisnya, seperti tinggi batang, jumlah daun, maupun luas area daun. Ciri ciri ini

merupakan bagian dari biometrics tanaman. Salah satu ciri biometrics yang paling tepat untuk menandakan umur suatu tanaman adalah morphology dari pucuk daun tanaman yang telah berkembang sempurna (Blanco dan Folegatti, 2003). Ciri morphology suatu daun seperti misalnya panjang dan lebar daun, serta panjang dan corak urat daun bertambah sesuai dengan pertambahan umur tanaman, dan tidak dipengaruhi oleh fase tumbuh tanaman tersebut, baik pada fase vegetative maupun pada fase generatif (Makky et al., 2015).

Agar pengamatan dan pengukuran ciri morphology pucuk daun tomat ini dapat dilakukan dengan tepat, maka pengukuran dengan cara manual tidak disarankan, mengingat bentuk daun tomat yang khas (Rost, 1996). Salah satu cara yang memungkinkan adalah dengan pemanfaatan teknik perekaman visual menggunakan komputer. Teknik ini telah digunakan untuk mengetahui biometrics dari tanaman sawit, terutama bagian tandan buah (Makky et al., 2004). Penggunaan aplikasi ini juga telah berhasil menentukan fase biologis dari tandan buah segar kelapa sawit yang berkaitan dengan umur buah yang dipanen (Makky et al., 2014c). Keunggulan dari penggunaan teknik ini adalah sifatnya yang tidak merusak sampel yang diukur (Makky dan Soni, 2013; 2014).

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Berdasarkan penjabaran diatas, maka untuk penelitian ini, teknik perekaman visual komputer digunakan untuk mengukur ciri morphology pucuk daun tomat, meliputi panjang dan lebar daun, kelengkungan urat daun, serta sudut antar urat daun. Tanaman tomat yang menjadi objek pada penelitian ini adalah cultivar tomat lokal yang dibudidayakan oleh petani di Sumatera barat. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini, yaitu berupa ciri ciri morphology pucuk daun tomat sesuai dengan umur tanaman, ditabulasikan dalam bentuk table dan model persamaan regresi. Kegiatan penelitian ini hanya terbatas pada pengukuran biometrics pucuk daun tomat yang tumbuh dalam kondisi sehat.

### **1.4 Manfaat Penelitian**

Luaran penelitian ini nantinya turut mendukung perkembangan aplikasi biometrics untuk identifikasi umur maupun genetika pada tanaman lainnya.

### **1.5 Luaran Penelitian**

Hasil dari penelitian ini adalah parameter dari morfologi daun yang memiliki korelasi terbaik dengan pertumbuhan tanaman. Selain itu, korelasi tersebut dapat dimodelkan dengan persamaan matematika sehingga, pada penelitian ini dihasilkan model penentuan umur tanaman berdasarkan beberapa dimensi dari bagian daun tanaman.

Hasil penelitian ini juga akan dipublikasikan pada “3rd International Conference Sustainable Agriculture, Food and Energy 17-20 November 2015 di VIETNAM” dan dipublikasikan pada “International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology” dengan no DOI : 10.18517, ISSN : 2088-5334, dan e-ISSN : 2460-6952.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

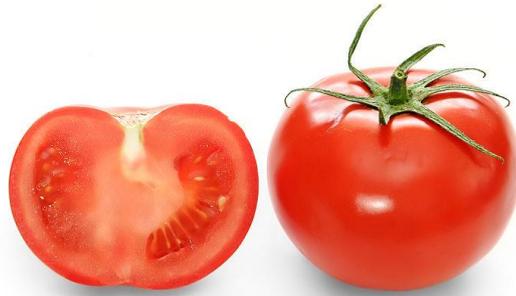
### 2.1 Tanaman Tomat (*Solanum lycopersicum*)

Tanaman tomat (Gambar 1) merupakan tanaman dari rumpun keluarga berry yang berasal dari pegunungan Andes di Amerika Selatan (Life, 2014), dan pada awalnya digunakan sebagai bahan makanan di daerah Mexico. Tanaman ini tersebar keseluruh dunia seiring dengan proses kolonisasi yang dilakukan oleh Spanyol di Amerika. Saat ini terdapat lebih dari 1400 varietas tomat yang dibudidayakan, terutama didalam rumah kaca pada daerah beriklim dingin (Bohs, 2005).



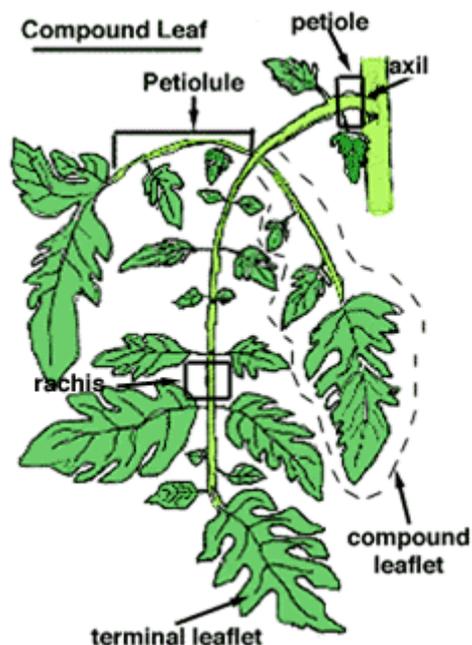
Gambar 1. Tanaman tomat berbentuk rumpun. (Sumber: <http://www.dobies.co.uk/>)

Buah tomat (Gambar 2) dikonsumsi secara luas, baik dalam bentuk segar, hasil olahan, maupun sebagai bumbu makanan untuk berbagai hidangan, seperti saus, salad dan minuman jus. Secara botani, tomat termasuk kedalam kelompok buah, namun secara umum tomat dianggap sebagai kelompok sayuran. Hal ini menimbulkan beberapa kesalahan persepsi pada masyarakat.



**Gambar 2.** Buah tomat dan penampakan melintang bagian buah (Sumber: <https://en.wikipedia.org/>)

Tanaman tomat termasuk golongan keluarga *Solanaceae* (Life, 2014). Tanaman ini umumnya memiliki tinggi 1 sampai 3 meter dan memiliki batang yang lemah, yang umumnya tumbuh menjalar ditanah atau menempel pada tanaman lainnya (Blanco et al., 2003). Daun tanaman tomat berbentuk majemuk (Gambar 3), yang terdiri dari beberapa cabang batang daun, masing masing memiliki tiga sampai 13 pucuk daun yang tersebar secara tidak merata.



**Gambar 3.** Daun tanaman tomat beserta bagiannya (Sumber: Rost, 1996)

Pucuk daun tomat terletak bagian ujung dari daun majemuk. Pertumbuhan daun tomat berubah dari daun simple pada awal pertumbuhan tanaman dan berubah menjadi daun majemuk seiring dengan proses tanaman menjadi dewasa. Perubahan bentuk ini merupakan salah satu ciri biometrics dari pertumbuhan tanaman tomat.

## 2.2 Morfologi dan Biometrics Tanaman Tomat

Morfologi tanaman adalah sebuah ilmu yang mempelajari bentuk dan ukuran dari struktur luar tanaman (Raven et al., 2005). Morfologi berbeda dengan anatomi tumbuhan yang umumnya mempelajari struktur internal dari tanaman, terutama pada bagian sel dan gen (Evert dan Esau, 2006).

Morfologi tanaman digunakan untuk membandingkan struktur dari bagian bagian tanaman yang berasal dari spesies yang sama. Kemudian, kemiripan dari seluruh individu pada bagian tersebut diformulasikan. Bila suatu struktur tanaman berkembang serupa disebabkan dari sifat genetic yang dimilikinya, maka struktur tanaman tersebut disebut dengan *homologus* (Raven et al., 2005). Contohnya adalah setiap daun dari tanaman tomat memiliki ukuran yang berbeda, namun secara umum bentuk daun dan motif dari urat daun cenderung sama. Berdasarkan karakteristik tersebut, pengelompokkan morfologi daun tomat dari spesies yang sama cenderung lebih mudah untuk dilakukan.

Perubahan morphology pada bagian bagian tanaman juga terjadi pada struktur vegetative (Somatic) dari tanaman, maupun struktur reproduksinya (Raven et al., 2005). Morphology pada struktur vegetative tanaman tomat meliputi struktur batang dan daun serta akar tanaman (Harold et al., 1987). Perubahan morphology pada tanaman juga terjadi pada berbagai skala. Pada skala paling kecil, perubahan terjadi pada cell tanaman, dan hanya dapat dilihat menggunakan bantuan alat optis, seperti mikroskop. Pada skala paling besar, perubahan morphology tanaman terjadi pada keseluruhan tanaman sebagai suatu individu (Leopold, 1964).

Seiring dengan pertumbuhan tanaman, terjadi perubahan morphology tanaman dari kondisi asalnya (Brand et al., 2001). Saat bagian dari suatu tanaman tumbuh dan berkembang menjadi dewasa, bagian tersebut terus menerus memproduksi jaringan baru, membentuk struktur yang lain dari tanaman tersebut. Dengan demikian struktur dari suatu tanaman juga dipengaruhi oleh awal dari pertumbuhan mereka, dan pada bagian mana struktu tersebut terbentuk (Barlow, 2005). Sebagai tambahan tidak semua struktur tanaman tersedia

saat tanaman tumbuh, sebagian struktur tanaman baru tumbuh saat tanaman mencapai usia vegetative maupun generative (Ross et al., 1983).

Biometrics dari suatu tanaman adalah adalah karakteristik morfologi yang dapat diidentifikasi untuk proses otentifikasi individu tanaman (Jain dan Ross, 2008). Proses otentifikasi ini umumnya menggunakan bantuan komputer dan dilakukan dengan memasukkan gambar digital objek yang diamati kedalam suatu program pengolahan citra, lalu membandingkan data citra yang telah diolah dengan kumpulan data yang terdapat didalam memori komputer (Weaver, 2006). Biometrics juga dapat digunakan untuk melakukan identifikasi suatu individu yang berada di tengah tengah rumpun tanaman.

Ciri biometrics dari suatu tanaman adalah bagian tanaman yang dapat dibedakan dan diukur serta memiliki karakteristik yang mendeskripsikan tanaman tersebut (Jain dan Ross, 2008) berbeda dengan tanaman yang lainnya. Pada tanaman tomat ciri biometrics yang digunakan dapat berupa sifat fisik tanaman, seperti bentuk tanaman, bentuk dan tinggi batang, bentuk dan susunan urat daun, serta geometri dari daun (Rattani, 2010). Karena ciri biometrics adalah unik untuk setiap individu, maka ciri tersebut sangat tepat bila digunakan untuk menentukan identitas suatu individu tanaman..

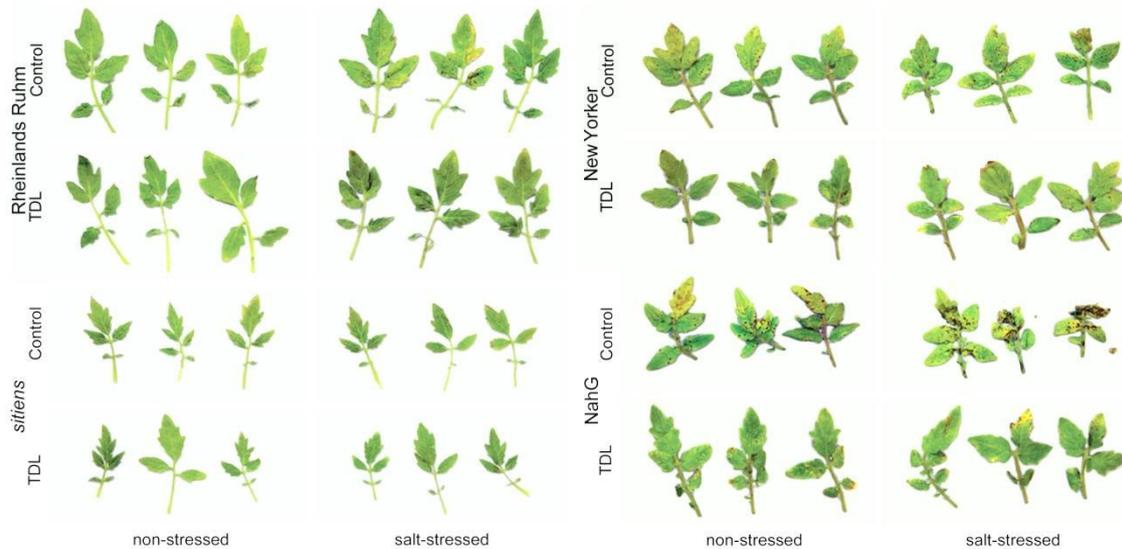
### 2.3 Deformasi daun tomat

Secara umum, daun tomat memiliki perbedaan mencolok antar cultivarnya (Gambar 4). Perbedaan ini dapat digunakan sebagai salah satu ciri biometrics.



**Gambar 4.** Berbagai anomaly dan deformasi daun pada tanaman tomat disebabkan kekurangan unsur hara (Sumber: Wirz dan Richter, 2007)

Selain perbedaan yang disebabkan oleh factor genetik, daun tomat juga dapat mengalami kerusakan atau deformasi yang disebabkan oleh beberapa hal, antara lain seperti kekurangan air, cahaya, suhu maupun unsur hara tanah yang diperlukan saat tanaman tumbuh berkembang (RHS, 2014). Selain itu, hama penyakit dan gangguan serangga juga dapat mengakibatkan berubahnya bentuk daun dari tanaman tomat (Gambar 5).



**Gambar 5.** Berbagai perubahan bentuk daun tanaman tomat akibat stres pada tanaman (Sumber: RHS, 2014)

Agar ciri biometrics daun tomat dapat dikenali dengan tepat, maka sampel daun yang digunakan harus memiliki bentuk sempurna tanpa cacat, yang diambil dari daun kedua dari batang utama tanaman, serta diukur pada kondisi datar (Blanco dan Folegatti, 2003).

#### **2.4 Pemanfaatan teknologi computer-vision untuk identifikasi tanaman berdasarkan morfologi dan biometrics daun**

Pemanfaatan komputer dibidang pertanian terkait identifikasi tanaman dengan pendekatan nondestruktif telah lama dilakukan oleh para ahli. Penggunaan computer-vision untuk mengukur indeks luas arealdaun tanaman tomat dan mentimun dilakukan dengan cara mengukur morfologi daun dari sampel tanamn lalu dibandingkan dengan luas relative keseluruhan daun pada tanaman (Blanco dan Folegatti, 2003). Penggunaan computer-vision pada penentuan indeks luas daun ini memungkinkan pengukuran dilakukan tanpa merusak sampel tanaman, terutama bila jumlah sampel tanaman pada suatu percobaan sangat terbatas.

Selain itu pengukuran juga dapat dilakukan berulang ulang saat pertumbuhan tanaman berlangsung (Blanco dan Folegatti, 2003).

Computer-vision juga telah dimanfaatkan untuk mengidentifikasi spesies suatu tanaman dengan pendekatan analisa biometrics (Hossain and Amin, 2010). Suatu perhitungan sederhana dan efisien diperkenalkan oleh Hossain dan Amin (2010) untuk mengidentifikasi spesies tanaman yang memiliki daun lebar dan datar. Daun tanaman jenis ini dapat dianalogikan sebagai sebuah benda dua dimensi, sehingga mempermudah pelaksanaan analisa biometrics. Pada penelitian tersebut, perangkat kamera dan pemindai datar digunakan untuk merekam citra sampel daun tanaman, dan dengan bantuan operator, lima ciri biometrics daun di tentukan menggunakan perangkat lunak. Adapun struktur daun yang diukur adalah: eksentrisitas daun, luas area, bentuk pinggiran daun, urat daun primer, urat daun sekunder, garis tengah daun, serta luas dan lokasi daerah cembung dari daun (Hossain dan Amin, 2010).

Dengan metode yang digunakan ini, hasil penelitian yang dilakukan memberikan akurasi identifikasi hingga 91.41%.

### III. METODE PENELITIAN

#### 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di kanagarian limau manis, kota padang Sumatera Barat. Pemilihan lokasi didasari oleh tingkat kesuburan tanah yang baik serta ketersediaan air yang mendukung. Penelitian dilakukan pada bulan Juli hingga Oktober tahun 2015, dan melibatkan beberapa orang Mahasiswa. Bentuk peran serta mahasiswa adalah menyiapkan sarana dan prasarana penelitian seperti pembuatan net house, sistem irigasi tetes mikro, penyiapan media tanam, penanaman benih, serta pengambilan sampel. Mahasiswa tersebut juga melaksanakan penelitian dengan topik yang sejalan dengan penelitian ini.

#### 3.2 Peralatan dan Bahan Penelitian

Objek yang akan diteliti adalah daun tanaman tomat yang berasal dari cultivar lokal. Biji tomat yang ditanam ditempatkan pada media tumbuh, berupa campuran tanah, pupuk kandang, dan sekam atau jerami dengan komposisi masing masing sebesar 40%, 30%, dan 30%. Media tanam ditempatkan dalam polybag berukuran satu liter. Pada setiap polybag ditempatkan tiga benih tomat. Dari ketiga benih tersebut hanya satu tanaman tomat terbaik yang dipilih. Untuk sampel penelitian ini, dipersiapkan 60 polybag masing masing berisi media tanam dan tiga benih tomat. Polybag diletakkan 50 cm satu dengan lainnya untuk memudahkan akses pekerja dalam pemeliharaan tanaman dan pengambilan sampel daun. Seluruh polybag diletakkan di tempat yang mendapatkan cukup sinar matahari dan di siram secara rutin dua kali sehari, dengan jumlah air yang diberikan sebanyak 50 – 250 ml/polybag/hari, tergantung dengan tingkat kekeringan tanah dan kelembaban udara, serta laju evapotranspirasi. Untuk menurunkan resiko terserang hama penyakit dari serangga, seluruh area percobaan ditutupi oleh jaring nylon dengan ukuran lubang 60 mesh.

#### 3.3 Tahapan Penelitian

Setelah benih tumbuh sempurna, ditandai dengan terbukanya dua daun kotiledon, maka dilakukan penjarangan tanaman, yaitu hanya satu tanaman yang dibiarkan tumbuh pada setiap polybagnya. Hal ini dilakukan untuk menghindari terjadinya persaingan nutrient dan air, sehingga tanaman dapat tumbuh sempurna. Pada hari ke tujuh, tanaman dengan daun kotiledon yang lengkap dipilih dan diberi tanda untuk dijadikan sample. Metode pengambilan sample yang digunakan adalah metode peubah acak lengkap, dimana posisi tanaman yang disampling diletakkan secara acak dalam demplot.

Pada hari ke 21, lima buah tanaman tomat dipilih secara acak dari demplot, lalu daun majemuk utama kedua pada batang dari tiap pohon dipotong dengan gunting pada bagian “*Petiole*” (Gambar 3). Selanjutnya, pucuk daun (*terminal leaflet*) dari daun majemuk tersebut dipotong dan diletakkan di atas kaca pemindai (scanner) dengan posisi terlelungkup. Bagian daun yang mengkerut atau terlipat diluruskan, sehingga daun dapat dipindai dengan sempurna. Resolusi pemindaian yang digunakan adalah 300 *DPI*, sehingga detail daun dan struktur mikro dari daun dapat terekam dengan jelas di gambar.

Gambar yang telah direkam selanjutnya diolah menggunakan software pengolahan citra digital. Pengolahan pada gambar yang dilakukan pertama kali adalah melakukan segmentasi citra, dengan menghilangkan bagian latar dari daun (objek). Proses segmentasi dilakukan dengan melakukan thresholding berdasarkan perbedaan warna latar (putih) dan daun (hijau). Citra daun yang dihasilkan selanjutnya di rubah kedalam citra greyscale untuk dianalisa tekstur gambar. Operasi penelusuran tepi dilakukan pada citra greyscale untuk mengidentifikasi pola dari urat daun. Suatu prosedur penelusuran tepi lainnya digunakan pada software untuk mengukur lebar antar tepi pada daun, dan panjang keseluruhan daun.

Pengukuran pola urat daun dilakukan secara manual pada software, dengan menentukan titik acuan pada bagian daun. Pola yang diukur adalah jarak dan sudut urat daun sekunder terhadap pangkal daun. Informasi lainnya yang diekstrak oleh program adalah nilai kehijauan dari daun. Nilai kehijauan ini berkaitan dengan ketebalan daun. Dengan demikian informasi biometrics yang diperoleh dari pengolahan citra daun adalah:

1. Lebar daun (a)
2. Panjang daun (b)
3. Panjang urat daun (c)
4. Deviasi kelengkungan urat daun terhadap sumbu daun (d)
5. Panjang urat daun sekunder (e)
6. Sudut garis e terhadap c (f)
7. Ketebalan daun (g)

Ketujuh fungsi ini selanjutnya dianalisa berdasarkan fungsi berikut:

$$f(bio) = \int f_{(a)} + \int f_{(b)} + \int f_{(c)} + \int f_{(d)} + \int f_{(e)} + \int f_{(\sin(f))} + \int f_{(g)} \quad (1)$$

Sampel daun selanjutnya di ambil pada hari ke 42 dan ke 63, secara acak dari tanaman yang berbeda. Informasi yang sama diambil dari hasil pengolahan citra daun yang direkam.

Pada sampling hari ke 63, daun majemuk mungkin saja memiliki ukuran yang sudah melebihi kapasitas pemindai yang digunakan, untuk itu, maka daun tersebut di rekam menggunakan kamera.

Agar seluruh permukaan daun terekam dengan baik oleh kamera, maka daun diletakkan didalam lapisan kaca tipis yang bersih, sehingga posisi daun terapat sempurna. Selanjtnya permukaan daun difoto dengan resolusi yang setara dengan pemindai (300 dpi). Untuk menghindari terjadinya perbedaan ukuran daun pada gambar yang dihasilkan karena perbedaan jarak pandangan antara kamera dan pemindai, maka sebuah kertas seukuran luas permukaan pemindai digunakan sebagai skala acuan. Ukuran daun yang terekam dibandingkan dengan ukuran kertas tersebut saat direkam oleh kamera. Selanjunya dilakukan interpolasi untuk mengetahui berapa luas daun secara relative terhadap luas kertas. Pengukuran ini dilakukan untuk mngetahui dimensi sebenarnya dari daun bila direkam oleh pemindai (scanner). Data morfologi daun yang diperoleh selanjutnya dimasukka kedalam persamaan 1.

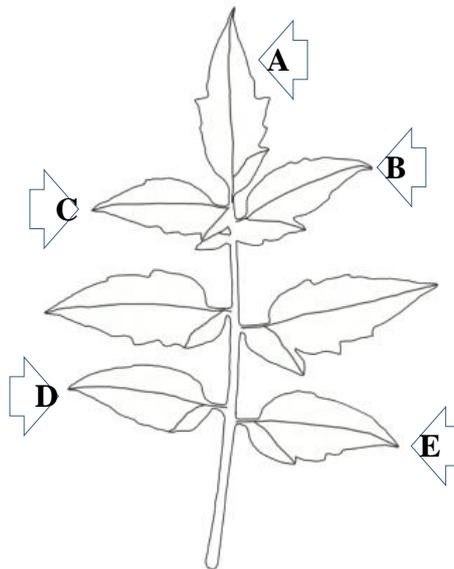
### **3.4 Analisa statistika**

Untuk mengetahui bagian dari struktur daun yang paling mempengaruhi ciri biometricsnya, maka data morfologi daun yang diperoleh selanjutnya diolah menggunakan metode analisa statistic Principal Component Analysis (PCA) dengan bantuan SPSS. Jumlah variable PCA yang dihasilkan ditentukan dari batas nilai *Eigen-value* lebih dari satu, menandakan tidak terdapat komponen PCA yang saling berhubungan secara nyata satu dengan lainnya. Komponen PCA yang dihasilkan selanjutnya dibobotkan menggunakan fungsi diskriminan. Persamaan discriminant yang diperoleh selanjutnya digunakan untuk menduga umur tanaman berdasarkan biometrics daun yang diperoleh.

## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

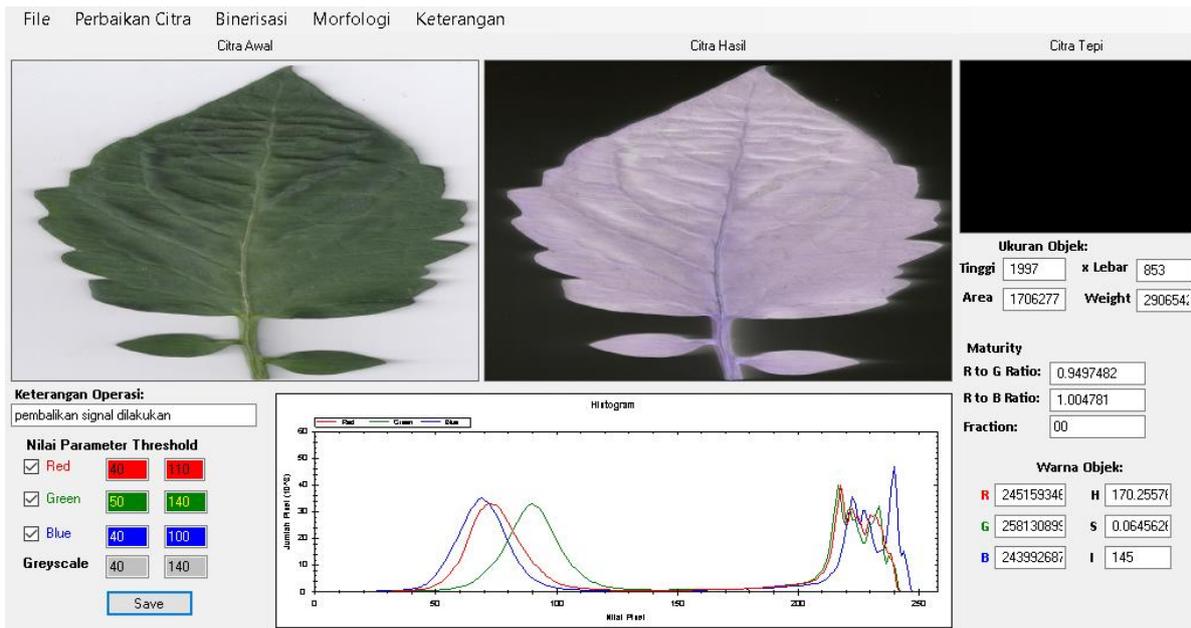
### 4.1 Hasil Penelitian

Pada penelitian ini, pengamatan dimulai pada hari ke 21 setelah tanaman ditanam. Bagian daun tanaman yang terletak pada cabang kedua dari bawah dipotong dan direkam menggunakan pemindai digital tipe mendatar. Bagian dari daun tersebut dipisahkan, sehingga hanya lima lembar daun tunggal yang menjadi objek pengamatan, yaitu daun bagian pucuk, pangkal, dan hilir, seperti terlihat pada Gambar 6. Daun direkam dengan ketelitian alat sebesar 300 dpi dan seluruh warna daun serta informasi lainnya disimpan dalam sebuah citra digital.

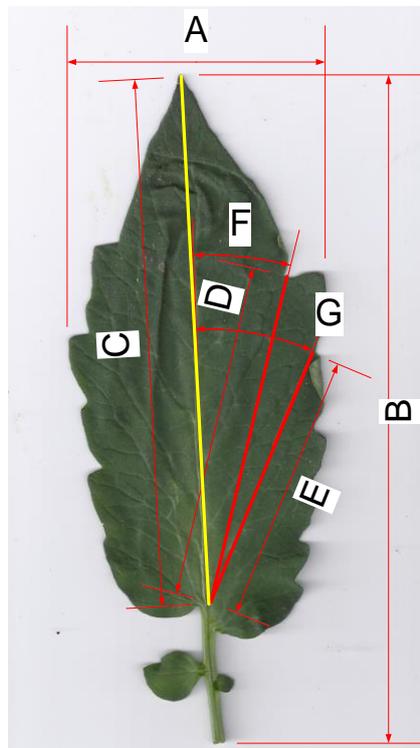


**Gambar 6.** Lima buah daun tunggal dari setiap cabang daun tanaman tomat yang di potong dijadikan objek pengamatan menggunakan pemindai digital (*Scanner*) tipe mendatar (*flatbed*) untuk diukur dimensi geometrisnya.

Segmentasi dilakukan untuk memisahkan bagian latar dari citra daun menggunakan program pengolahan citra digital (Gambar 7). Setelah citra daun tersegmentasi, dan terhapus latar belakangnya, maka program pengolahan citra melakukan perhitungan warna daun dan bagian geometris lainnya, seperti panjang dan lebar daun, ukuran tulang daun primer dan sekunder, serta sudut yang terbentuk antara tulang daun primer dan sekunder (Gambar 8)..



**Gambar 7.** Program pengolahan citra digital yang dikembangkan untuk melakukan operasi segmentasi dan perhitungan data geometris daun pada penelitian ini. Program dikembangkan menggunakan bahasa pemrograman C# dan dikhususkan untuk proses analisa Multimodal Biometric pada daun tomat



**Gambar 8.** Dimensi Geometri dari daun tanaman tomat yang dijadikan sebagai parameter Biometrik pada penelitian ini, meliputi lebar daun (A); panjang daun dengan tangkai (B); panjang tulang daun utama (C); panjang tulang daun pertama (D); dan sudut yang terbentuk dengan tulang daun utama (F); panjang tulang daun kedua (E); dan sudut yang terbentuk dengan tulang daun utama (G).

Analisis biometrik multimodal pada daun tanaman dilakukan dengan teknik fenotiping, menggunakan delapan fitur dasar geometris daun (Gambar. 8), seperti yang telah dilakukan oleh Wu et al. (2007). Dalam studi ini, warna daun juga merupakan salah satu parameter dalam pengamatan. Warna daun diamati menggunakan teknik *Multidimensional Embedding Sequence Similarity* (MESS) method yang dikembangkan oleh Fotopoulou et al. (2011), dan dianggap sebagai parameter biometrik pelengkap. Meskipun tekstur (Valliammal dan Geethalakshmi, 2012) dan bentuk daun (Iwata dan Ukai, 2002) dapat dianggap sebagai parameter biometrik, dalam penelitian ini kedua parameter tidak diperhitungkan karena alasan praktis.

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, bahwa perekaman citra daun tomat dilakukan pada hari ke 21 setelah tanam, dan diulangi pada hari ke 42 dan 63 setelah tanam. Pada setiap pengamatan, 10 daun dari 10 tanaman digunakan sebagai sampel, sehingga secara keseluruhan digunakan 30 sampel tanaman.

Dari hasil pengamatan pada penelitian ini, dimensi dan ukuran data biometrik multimodal daun tanaman sampel disajikan pada Tabel 1. Tabel tersebut menunjukkan hubungan positif antara ciri dan ukuran geometris daun tomat terhadap usia tanaman.

**Tabel 1. Dimensi dan ukuran data biometrik multimodal dari daun tanaman sampel berdasarkan umur tanaman**

Age (DAS)	Leaf Position	Veins <sup>z</sup> (mm)	Wide <sup>z</sup> (mm)	LA <sup>z</sup> (mm <sup>2</sup> )	1st Leaf Blade <sup>z</sup>		2nd Leaf Blade <sup>z</sup>		Petiole <sup>z</sup> (mm)
					Length (mm)	Angle <sup>0</sup>	Length (mm)	Angle <sup>0</sup>	
21	a	31±0.8 <sub>ab</sub>	13±0.3 <sub>b</sub>	201.5±5 <sub>ab</sub>	16±0.4 <sub>b</sub>	11.8±0.3 <sub>ab</sub>	9±0.2 <sub>b</sub>	23.3±0.6 <sub>ab</sub>	5±0.1 <sub>a</sub>
	b	30±0.8 <sub>ab</sub>	11±0.3 <sub>a</sub>	165±4.1 <sub>a</sub>	17±0.4 <sub>b</sub>	15.8±0.4 <sub>ab</sub>	5±0.1 <sub>a</sub>	33.8±0.8 <sub>b</sub>	0 <sub>a</sub>
	c	33±0.8 <sub>b</sub>	14±0.4 <sub>b</sub>	231±5.8 <sub>b</sub>	17±0.4 <sub>b</sub>	7.1±0.2 <sub>a</sub>	11±0.3 <sub>b</sub>	14.9±0.4 <sub>a</sub>	0 <sub>a</sub>
	d	25±0.6 <sub>a</sub>	12±0.3 <sub>a</sub>	150±3.8 <sub>a</sub>	11±0.3 <sub>a</sub>	15.1±0.4 <sub>ab</sub>	9±0.2 <sub>b</sub>	29.6±0.7 <sub>b</sub>	5±0.1 <sub>a</sub>
	e	26±0.7 <sub>a</sub>	11±0.3 <sub>a</sub>	143±3.6 <sub>a</sub>	12±0.3 <sub>a</sub>	22.7±0.6 <sub>b</sub>	8±0.2 <sub>b</sub>	39±1 <sub>b</sub>	4±0.1 <sub>a</sub>
42	a	88±2.2 <sub>d</sub>	37±0.9 <sub>d</sub>	1628±40.7 <sub>d</sub>	63±1.6 <sub>d</sub>	7.2±0.2 <sub>a</sub>	48±1.2 <sub>d</sub>	14.3±0.4 <sub>a</sub>	0 <sub>a</sub>
	b	80±2 <sub>cd</sub>	38±1 <sub>d</sub>	1520±38 <sub>d</sub>	58±1.5 <sub>d</sub>	8.1±0.2 <sub>a</sub>	46±1.2 <sub>d</sub>	18.3±0.5 <sub>a</sub>	0 <sub>a</sub>
	c	80±2 <sub>cd</sub>	35±0.9 <sub>d</sub>	1400±35 <sub>d</sub>	49±1.2 <sub>ed</sub>	11.1±0.3 <sub>ab</sub>	37±0.9 <sub>cc</sub>	17.5±0.4 <sub>a</sub>	0 <sub>a</sub>
	d	68±1.7 <sub>c</sub>	32±0.8 <sub>cd</sub>	1088±27.2 <sub>c</sub>	36±0.9 <sub>e</sub>	16.1±0.4 <sub>ab</sub>	30±0.8 <sub>c</sub>	31±0.8 <sub>b</sub>	4±0.1 <sub>a</sub>
	e	60±1.5 <sub>c</sub>	25±0.6 <sub>c</sub>	750±18.8 <sub>c</sub>	38±1 <sub>e</sub>	19.7±0.5 <sub>b</sub>	27±0.7 <sub>c</sub>	29.7±0.7 <sub>b</sub>	7±0.2 <sub>a</sub>
63	a	123±3 <sub>f</sub>	61±1.5 <sub>f</sub>	3751.5±93.8 <sub>f</sub>	78±2 <sub>f</sub>	16.2±0.4 <sub>ab</sub>	63±1.6 <sub>f</sub>	25±0.6 <sub>ab</sub>	33±0.8 <sub>b</sub>
	b	132±3.3 <sub>f</sub>	68±1.7 <sub>f</sub>	4488±112.2 <sub>f</sub>	84±2.1 <sub>f</sub>	15.3±0.4 <sub>ab</sub>	70±1.8 <sub>f</sub>	23±0.6 <sub>ab</sub>	35±0.9 <sub>b</sub>
	c	103±2.6 <sub>ef</sub>	49±1.2 <sub>ef</sub>	2523.5±63.1 <sub>ef</sub>	73±1.8 <sub>f</sub>	12.3±0.3 <sub>ab</sub>	60±1.5 <sub>f</sub>	19.2±0.5 <sub>a</sub>	27±0.7 <sub>b</sub>
	d	96±2.4 <sub>ef</sub>	47±1.2 <sub>ef</sub>	2256±56.4 <sub>ef</sub>	63±1.6 <sub>ef</sub>	9.2±0.2 <sub>a</sub>	52±1.3 <sub>ef</sub>	14.6±0.4 <sub>a</sub>	24±0.6 <sub>b</sub>
	e	74±1.9 <sub>e</sub>	39±1 <sub>e</sub>	1443±36.1 <sub>e</sub>	45±1.1 <sub>e</sub>	21.3±0.5 <sub>b</sub>	36±0.9 <sub>e</sub>	27.8±0.7 <sub>b</sub>	12±0.3 <sub>ab</sub>

<sup>z</sup> Nilai rata rata yang diikuti oleh huruf yang sama pada tiap kolom baris menunjukkan beda hasil tidak nyata, diuji menggunakan uji Duncan's multiple range dengan nilai P = 0.05.

*Identifikasi Umur Tanaman Tomat (Lycopersicon Esculentum) Dengan Komputer Imaging Berdasarkan Informasi Bio-Metric Dari Sifat Morfologi Daun*

Sebagai tanaman yang sedang tumbuh, sebagian besar ciri geometris daun dan komponen lainnya turut bertambah ukurannya sesuai dengan waktu pengamatan, terkecuali sudut yang dibentuk antara vena bilah daun dengan vena utama (F dan G pada Gambar. 8). Laju pertumbuhan ukuran geometris pada daun memiliki korelasi positif seperti yang terlihat pada Gambar 9.

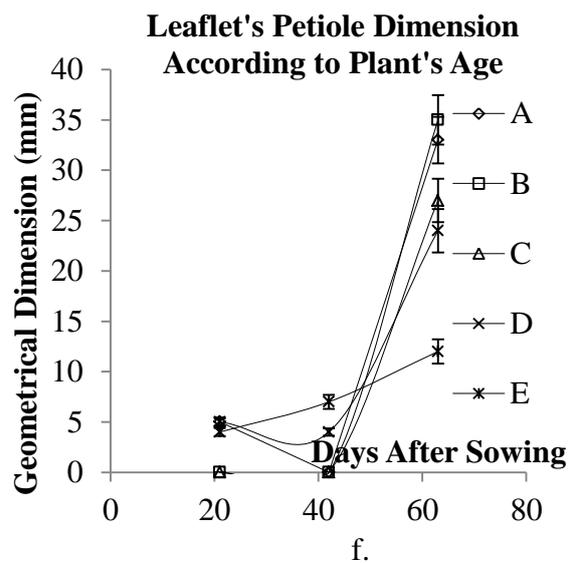
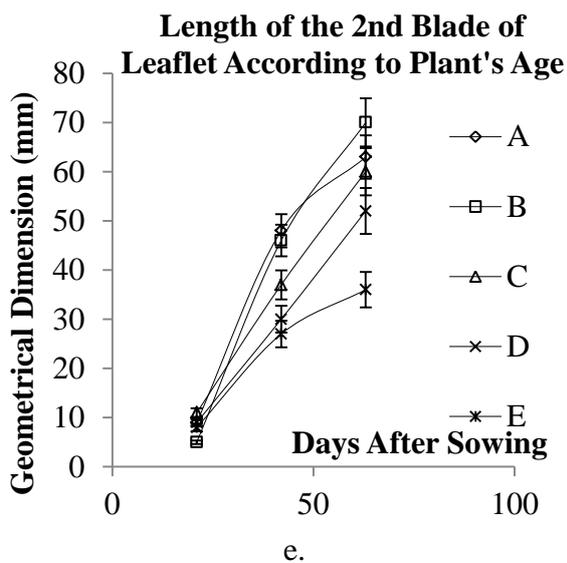
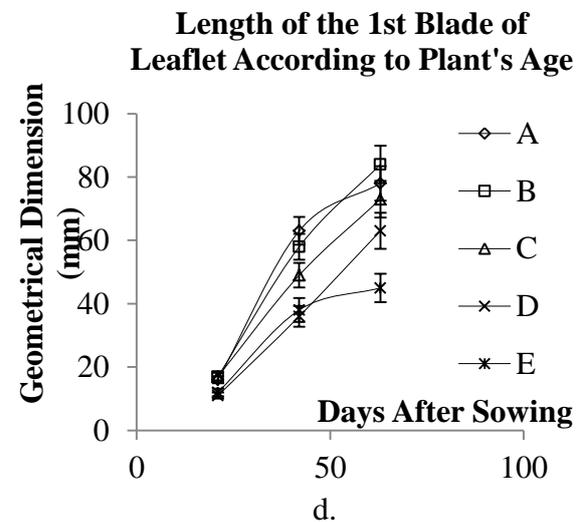
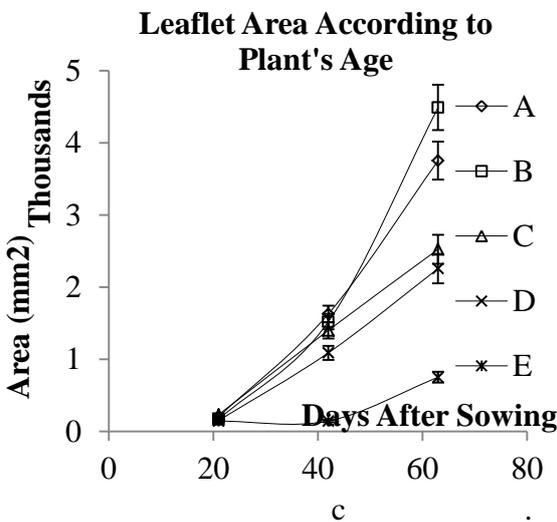
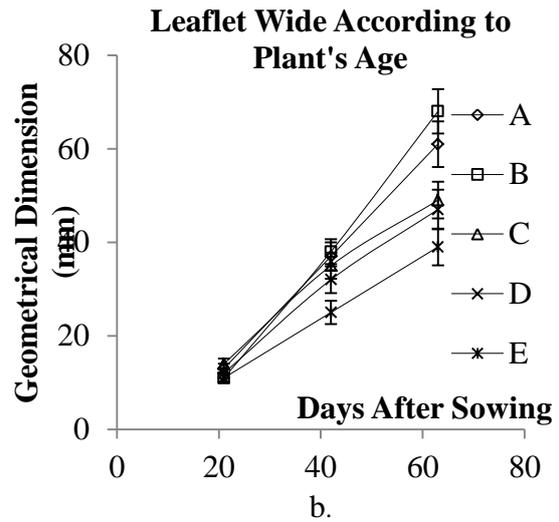
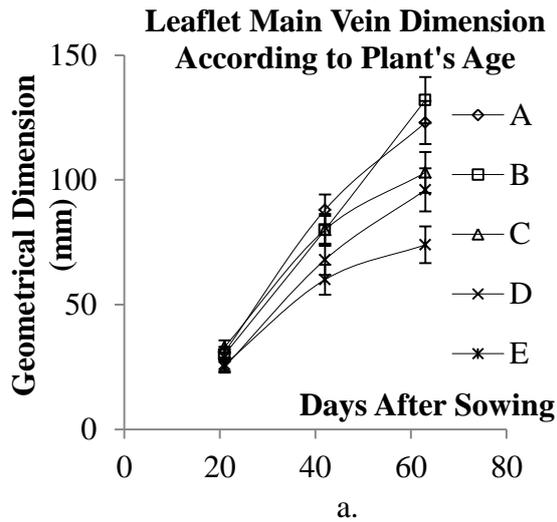
Dari gambar 9, terlihat korelasi positif antara pertambahan umur tanaman sampel dengan ukuran daun dan komponennya. Hal ini terlihat pada dimensi panjang dan lebar daun (Gambar 9a dan 9b), serta ukuran tulang daun, baik tulang daun primer (9d) maupun tulang daun sekunder (9e). Data pada gambar 9 juga menunjukkan bahwa luas area daun (9c) serta panjang tangkai daun (9f) tumbuh secara eksponensial. Pertumbuhan kedua komponen daun ini jauh lebih cepat dari bagian daun lainnya.

Oleh karena itu, bagian daun yang dijadikan acuan untuk menentukan umur tanaman harus dipilih dengan analisa statistik yang baik. Pada penelitian ini, analisa tersebut dilakukan menggunakan metode *PCA*. Untuk menggunakan metode tersebut, maka data sampel hasil pengamatan dianalisa terlebih dahulu menggunakan *Descriptive Statistics*.

Analisa deskriptif ini dilakukan untuk mengetahui rata rata dimensi setiap paramater geometris daun, berikut dengan simpangan baku dari kelompok data tersebut. Dimensi geometris daun digunakan sebagai parameter masukkan saat analisa *PCA* dilakukan dengan menjadikan umur tanaman sebagai sasaran keluaran (target capaian). Dengan analisa *descriptive variasi tunggal*, nilai rata rata dimensi geometris daun serta variasi nilai dan simpangan baku diperoleh seperti yang terlihat pada Tabel II.

**Tabel II. Rata rata dan simpangan baku dimensi geometris daun yang diamati berdasarkan waktu pengamatan dan umur tanaman.**

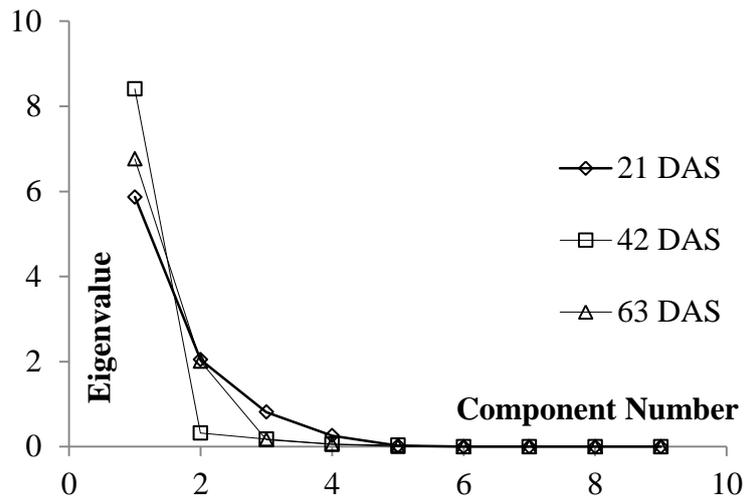
	Umur tanaman (hst)					
	21		42		63	
	Rata-rata	Std. Dev. ( $\delta$ )	Rata-rata	Std. Dev. ( $\delta$ )	Rata-rata	Std. Dev. ( $\delta$ )
<b>Tulang daun primer</b>	29.0	3.2	75.2	10.4	105.6	21.3
<b>Lebar daun</b>	12.2	1.2	33.4	4.9	52.8	10.8
<b>Luas daun</b>	178.1	34.7	1277.2	332.0	2892.4	1128.8
<b>Panjang tulang daun sekunder 1</b>	14.6	2.7	48.8	11.1	68.6	14.2
<b>Sudut dengan tulang primer</b>	14.5	5.3	12.4	5.0	14.9	4.2
<b>Panjang tulang daun sekunder 2</b>	8.4	2.0	37.6	8.7	56.2	12.1
<b>Sudut dengan tulang primer</b>	28.1	8.7	22.2	7.1	21.9	4.8
<b>Panjang tangkai daun</b>	2.8	2.4	2.2	3.0	26.2	8.4



**Gambar 9.** Dimensi geometris dari daun tanaman tomat yang diamati, diukur seiring dengan pertumbuhan tanaman yang dihitung dengan jumlah hari setelah tanam. Daun yang diamati adalah daun primer (Gambar 6), dan dimensi geometris berdasarkan angka A sampai E adalah sesuai dengan Gambar 8.

Dimensi geometris tanaman hasil analisa statistik deskriptif pada Tabel II selanjutnya dijadikan sebagai variabel input pada analisa PCA. Analisa tersebut dilakukan dengan menggunakan umur tanaman saat dimensi tersebut diukur sebagai faktor penentu model. Data sampel selanjutnya diekstraksi pada proses PCA menggunakan persamaan uji *Bartlett's* dan uji *Kaiser-Mayer-Olkin* (KMO) untuk mengukur keseragaman sebaran data. Analisa korelasi yang diproduksi ulang dari pengujian tersebut dilakukan dengan prosedur *anti-image* dan korelasi inverse untuk mengakses level nyata dari setiap komponen geometris daun. Komponen utama dari analisa PCA dihasilkan dengan menentukan setiap perbedaan *Eigenvalue* harus lebih besar dari pada satu. Artinya sebaran data dari dua kelompok yang diuji tidak boleh saling tumpang tindih lebih dari 5%. Pemilihan dengan prasyarat ini memastikan bahwa komponen utama yang dipilih memang memiliki sebaran data yang terpisah dari komponen lainnya. Setiap analisa PCA data yang dilakukan dan menghasilkan dua atau lebih komponen utama, akan diuji kedua komponen tersebut menggunakan uji rotasional *canonical* menggunakan teknik analisa faktor *varimax*, untuk menunjukkan parameter geometris mana dari daun yang masih memiliki korelasi dengan parameter lainnya. Bila dari hasil uji ini, terdapat parameter yang berhimpitan atau berdekatan dengan parameter lainnya, maka kelompok parameter tersebut dapat diwakilkan oleh salah satu anggota kelompoknya.

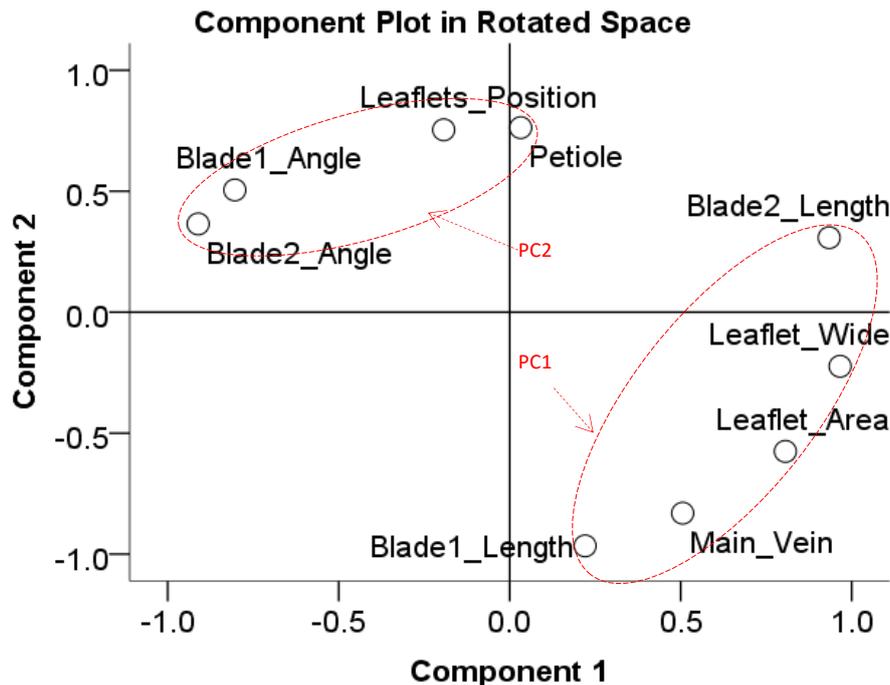
Jumlah komponen utama dari analisa PCA yang diperoleh untuk menjabarkan keseluruhan sifat geometris daun secara lengkap, ditentukan berdasarkan umur tanaman saat pengamatan dilakukan. Jumlah komponen setiap analisa PCA berdasarkan umur tanaman tersebut dapat dilihat pada Gambar 10. Grafik pada Gambar 10. Menjelaskan bahwa saat tahap perkembangan awal tanaman, geometris maupun ukuran daun dapat diwakilkan oleh dua komponen utama. Jumlah ini ditentukan berdasarkan analisa PCA dengan seleksi pemilihan komponen terpilih menggunakan nilai *Eigenvalue* yang lebih besar dari satu. Namun, saat tanaman mencapai umur 42 hari (setelah tanam). Tanaman memasuki laju pertumbuhan vegetatif yang sangat pesat, sehingga komponen utama yang diperlukan untuk menjelaskan ukuran geometris daun tersebut cukup diwakili oleh satu komponen utama saja. Diakhir masa pertumbuhan vegetatif, dimana proses reproduksi tanaman mulai berlangsung, ditandai dengan terbentuknya bakal bunga pada tanaman. Data geometris tanaman pada umur tanam 60 hari ini menunjukkan bahwa jumlah komponen utama yang diperlukan untuk menjelaskan parameter geometrik daun membutuhkan dua komponen.



**Gambar 10.** Grafik menunjukkan jumlah variasi total dari parameter geometric daun yang dapat diwakilkan oleh komponen utama dari hasil analisa PCA sesuai dengan umur tanaman saat pengamatan dilakukan.

Berdasarkan perbedaan jumlah komponen utama yang diperlukan untuk menjelaskan sifat geometris daun pada setiap tahap perkembangan tanaman, analisa biometric tanaman tomat membutuhkan pendekatan secara non-kontinuitas, artinya bahwa terdapat perbedaan geometris daun pada fase pertumbuhan tanaman yang tidak dapat digeneralisasikan sebagai suatu sifat secara umum. Untuk itu maka sifat geometris daun dari tanaman tomat untuk menentukan umur tanaman tersebut di bagi menjadi tiga, sesuai dengan tahapan dan fase pertumbuhannya.

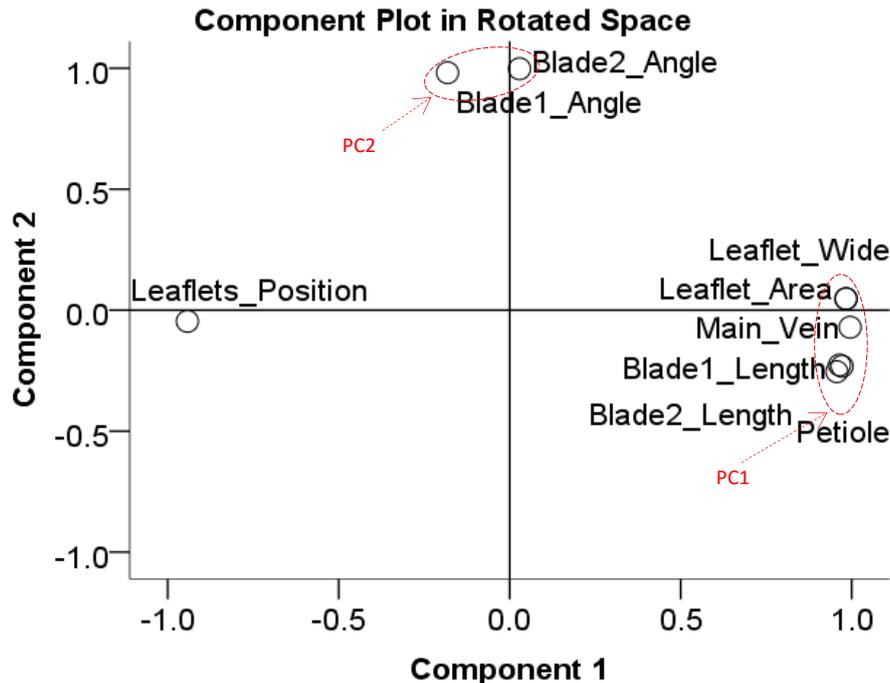
Bagian pertama dari komponen utama untuk menentukan umur tanaman berdasarkan dimensi geometric daun dapat dilakukan saat tanaman tomat masih berada dalam tahap vegetative. Lima parameter geometric dipilih sebagai acuan (Gambar 11), yaitu panjang tulang daun primer, dan sekunder (1 dan 2) serta luas dan lebar daun. Komponen utama kedua digunakan untuk mewakili empat dimensi geometric daun tanaman tomat untuk menentukan umur tanaman tersebut saat memasuki fase laju generative. Keempat dimensi geometric tersebut adalah tangkai daun, posisi daun, dan sudut tulang daun sekunder (1 dan 2).



**Gambar 11.** Plot grafik komponen utama dari PCA setelah dirotasi menggunakan teknik *vari-max*. Kedua komponen utama (PC1 dan PC2) digunakan untuk mewakili parameter dari dimensi geometric daun dalam menentukan umur tanaman saat pengamatan hari ke 21.

Saat memasuki tahap perkembangan generative lanjut, yaitu sekitar 42 hari setelah tanam, sebuah komponen utama dari hasil PCA dapat digunakan untuk menentukan umur tanaman berdasarkan dimensi biometric daunnya. Komponen ini terdiri dari seluruh parameter dimensi geometric daun, yaitu sudut tulang daun sekunder 1 dan 2, luas daun, panjang tulang daun primer, posisi daun, panjang tulang daun sekunder (1 dan 2), lebar daun, dan panjang tangkai daun. Semua komponen dari geometric daun ini berkontribusi secara seimbang dalam penentuan umur tanaman.

Tanaman akan memasuki akhir fase vegetative dan memulai fase reproduksi, atau generative, saat umur tanaman tomat mencapai 60 hari setelah tanam (hst). Saat pengamatan dilakukan pada umur tanaman tersebut, yaitu 63 hst, hampir seluruh sampel tanaman telah memiliki bakal bunga. Pada tahap ini, ciri biometric tanaman yang dapat digunakan sebagai penentu umur tanaman terdiri dari dua komponen utama, seperti tersaji pada Gambar 12. Komponen utama pertama untuk penentuan biometric tanaman terdiri dari enam ciri geometris daun, yaitu lebar daun, panjang tulang daun primer dan sekunder, panjang tangkai daun, dan luas daun. Sedangkan komponen utama kedua terdiri dari dua ciri geometris daun, yaitu sudut tulang daun sekunder 1 dan 2.



**Gambar 12.** Plot grafik komponen utama dari PCA setelah dirotasi menggunakan teknik *vari-max*. Kedua komponen utama (PC1 dan PC2) digunakan untuk mewakili parameter dari dimensi geometric daun dalam menentukan umur tanaman saat pengamatan.hari ke 63.

## 4.2 Pembahasan

Tomat merupakan produk hortikultura yang banyak dibudidayakan di Indonesia sebagai salah satu produk lokal, dan umumnya digunakan untuk konsumsi domestik. Saat ini, produksi tahunan tomat di Indonesia mencapai lebih dari 800 ribu metrik ton (BPS, 2014), di mana pusat produksi yang berlokasi di provinsi Jawa Barat.

Dalam masa pertumbuhannya, karakteristik fisik dan biologis tanaman tomat mengalami transformasi. Transformasi ini dapat digunakan untuk fenotiping, yaitu mengenali ciri fisik dari suatu tanaman untuk mengidentifikasi dari sifat tanaman tersebut, antara lain, untuk mengamati usia dan tahap perkembangan tanaman. Usia tanaman berkaitan erat dengan metode perawatan, serta kebutuhan air dan nutrisi lainnya (Blanco et al., 2003). Fenotipik tanaman tomat dapat dilakukan, antara lain, dengan mengamati perubahan karakteristik fisik dan biologis dari tanaman, seperti melalui analisis Multimodal Biometric pada komponen tanaman (Reddy et al., 2012). Metode ini telah banyak digunakan untuk melakukan identifikasi dan klasifikasi berbagai jenis tanaman (Jain et al., 2004). Berbeda dengan sistem untuk analisis biometrik manusia, yang banyak tersedia di pasaran, sistem serupa untuk analisis tanaman yang jarang, dan lebih sering masih dalam perkembangan. Setiap

karakteristik tanaman unik dan diidentifikasi pada tingkat spesies (Reddy et al., 2012). Oleh karena itu sistem tertentu perlu dikembangkan untuk setiap spesies, termasuk tomat.

Beberapa sistem biometrik multimodal telah dikembangkan untuk menemukan berbagai karakteristik tanaman, seperti analisis citra tanaman kanopi (Lhotka dan Loewenstein, 2006; Feng et al., 2010), jarak tanam dan bidang kemiringan (Papadopoulos dan Pararajasingham, 1997; Higashide, 2009), bentuk tanaman (Feng et al., 2008), denah (Foley et al., 1993; Jonckheere et al., 2004), Hemispherical fotografi (Cescatti, 2007), truss tanaman (Feng et al., 2008), dan pencitraan klorofil fluoresensi untuk tanaman (Takayama et al., 2011) serta untuk kanopi tanaman tomat (Takayama et al., 2010). Namun, sebagian besar dari metode ini tidak dapat diterapkan secara langsung di lapangan, karena mereka membutuhkan alat khusus dan teknik untuk implementasi.

Untuk pendekatan yang lebih praktis dan bisa diterapkan, aplikasi analisis biometrik multimodal untuk tanaman difokuskan pada daun tanaman, seperti studi oleh Raza et al. (2014; 2015), Oerke et al. (2006; 2011), dan Lindenthal et al. (2005). Analisis struktural dari daun tanaman tomat memungkinkan ketertelusuran garis integrasi tanaman domestik dari spesies liar (Chitwood et al., 2013). Selain itu, analisis yang sama mengungkapkan hubungan yang menarik antara morfologi daun dan akumulasi gula dalam buah-buahan tomat.

Beberapa parameter penting dari daun yang dapat digunakan untuk analisis biometrik multimodal mencakup fitur dasar geometris sebaran ini (wu et al., 2007), warna (Fotopoulo et al., 2011), tekstur (Valliamal dan Geethalakshmi, 2012), dan bentuk (Iwata dan Ukai, 2002).

Persyaratan untuk nutrisi, air, dan pengobatan untuk tanaman, tomat khususnya, akan bervariasi sesuai dengan tahap perkembangan tanaman. Menyediakan kebutuhan tersebut dalam jumlah yang tepat akan mendorong tingkat pertumbuhan yang sangat baik, dan pada saat yang sama akan meningkatkan produktivitas tanaman. Secara paralel, dosis tepat dari pupuk dan air khususnya, secara signifikan akan mengurangi biaya produksi secara keseluruhan, serta konsekuensi lingkungan dalam praktek budidaya, karena kelebihan gizi akan menumpuk dan akhirnya mencemari tanah di area produksi.

Dalam penelitian ini, teknik analisis biometrik multimodal akan digunakan untuk menganalisis fitur geometris sebaran tanaman tomat untuk penentuan umur tanaman. Sebaran tersebut dari daun majemuk utama dari tanaman 'dipilih pada posisi tertentu dan tanaman yang dibudidayakan secara tepat termasuk penerapan pupuk, air, dan pengobatan tanaman tepat diberikan untuk mencegah dosis berlebihan.

Namun demikian, hasil penentuan umur tanaman yang dihasilkan pada penelitian ini hanya dapat diterapkan pada jenis kultivar tanaman tomat sampel. Untuk tanaman jenis lain, perlu dikembangkan model lain, atau memodifikasi dari model yang diperoleh dari penelitian ini. Teknik lain yang dapat digunakan adalah aplikasi *machine-vision* seperti yang telah diterapkan pada analisa kualitas buah sawit (Makky et al., 2004; 2012a; 2012b; 2014a; 2014b; 2014c; 2015; Makky dan Soni, 2013a; 2013b; 2014; Makky, 2015) ataupun memanfaatkan teknik *photogrammetry* (Cherie et al., 2012; 2015a; 2015b) dan *spektrofotometri* (Thoriq et al., 2012; Makky et al., 2012b; Makky dan Soni, 2014; Makky, 2015)

Hasil penelitian ini dapat digunakan oleh masyarakat setempat, khususnya petani tomat, untuk memotong biaya produksi mereka, sementara di saat yang sama meningkatkan produktivitas, efisiensi dan daya saing, meningkatkan kesempatan mereka dalam Masyarakat Ekonomi ASEAN 2015.

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Pada penelitian ini, umur dan fase pertumbuhan tanaman tomat dapat ditentukan menggunakan teknik analisa karakteristik multimodal biometrik dari daun tanaman tersebut. Lima model dikembangkan untuk menentukan umur tanaman dari dimensi geometris daun tanaman sehingga dapat dilakukan penentuan umur dan fase pertumbuhan tanaman tomat sejenis menggunakan teknik nondestruktif sesuai dengan ciri multimodal biometriknya. Daun tanaman yang menjadi sampel adalah daun tanaman primer, yaitu daun yang pertama tumbuh diatas daun kotiledon pada tanaman. Posisi daun ini biasanya berada paling bawah pada tanaman tomat.

Teknik penentuan umur tanaman tomat berdasarkan ciri biometriknya, yaitu dengan menenetuakn dimensi geometris daun tertentu dari tanaman dikenal dengan teknik *phenotypic*. Teknik ini merupakan temuan baru dalam dunia keteknikan pertanian, sehingga hasil yang diperoleh pada penelitian ini akan menjadi bahan acuan bagi penelitian sejenis yang dilakukan dimasa datang.

### 5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian ini, maka perlu dikembangkan metode yang lebih baik untuk dapat menentukan umur tanaman dengan ciri biometriknya, termasuk salah satunya adalah dimensi geometris daun maupun bagian tanamn lainnya, agar dapat dikembangkan sebuah model universal yang dapat diaplikasikan pada berbagai tanaman.

## DAFTAR PUSTAKA

- Barlow, P. 2005. Patterned cell determination in a plant tissue: The secondary phloem of trees. *BioEssays: news and reviews in molecular, cellular and developmental biology* 27 (5): 533–41.
- Blanco, F. F., and Folegatti, M.V. 2003. A new method for estimating the leaf area index of cucumber and tomato plants. *Horticultura Brasileira*, Brasília, 21(4):666-669, outubro/dezembro.
- Blanco, F.F., dan Folegatti, M.V. 2003. A new method for estimating the leaf area index of cucumber and tomato plants. *Journal of Horticulture* 21(4): 666-669.
- Bohs, L. 2005 Major clades in *Solanum* based in ndhF sequences. pp. 27-49 in R. C. Keating, V. C. Hollowell, & T. B. Croat (eds.), *A festschrift for William G. D'Arcy: the legacy of a taxonomist. Monographs in Systematic Botany from the Missouri Botanical Garden*, Vol. 104. Missouri Botanical Garden Press, St. Louis.
- BPS, 2014, *Produksi Tomat Menurut Provinsi, 2010-2014*. Badan Pusat Statistik, Indonesia.
- Brand U., Hobe M., Simon R. 2001. Functional domains in plant shoot meristems. *BioEssays: news and reviews in molecular, cellular and developmental biology* 23 (2): 134–41.
- Cescatti, A. 2007. Indirect estimates of canopy gap fraction based on the linear conversion of hemispherical photographs Methodology and comparison with standard thresholding techniques. *Agric. Forest Meteorol.*, 143(1-2): 1-12.
- Cherie D., Herodian S., Ahmad U., Mandang T., and Makky M. 2015. Optical Characteristics of Oil Palm Fresh Fruits Bunch (FFB) Under Three Spectrum Regions Influence for Harvest Decision. *IJASEIT* 5(3): 104-112.
- Cherie D., Herodian S., Makky M., Mandang T., Ahmad U., and Thoriq A. 2012. Application of Photogrametric for oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq) Fresh Fruits Bunch (FFB) ripeness. The role of agricultural engineering to support food and energy security with environmental insight: Proc. of ISAE national seminar, ed. Hendrawan Y., Al Riza D.F., Dewi S.R., Sugiarto Y., Ubaidillah, and Fatchurrahman D. Brawijaya University, Malang, 30 Nov.-2 Dec. Indonesia. pp. 166-177.
- Cherie, D., Herodian, S., Mandang, T., Ahmad, U., and Makky, M. 2015. Camera-Vision Based Oil Content Prediction for Oil Palm (*Elaeis Guineensis* Jacq) Fresh Fruits Bunch at Various Recording Distances. *IJASEIT* 5(4): pages: 314-322.
- Chitwood, DH., R. Kumar, L.R. Headland, A. Ranjan, M.F. Covington, Y. Ichihashi, D. Fulop, J.M. Jiménez-Gómez, J. Peng, J.N Maloof, and N.R. Sinhaa. 2013. A Quantitative Genetic Basis for Leaf Morphology in a Set of Precisely Defined Tomato Introgression Lines. *The Plant Cell*, July Vol. 25: 2465–2481.
- DEPTAN, 2014, *Produksi Hortukultura Berdasarkan Provinsi di Indonesia*. Direktorat Jenderal Hortikultura, Departemen Pertanian Rwpublik Indonesia.
- Evert, R.F, and Esau, K. 2006. *Esau's Plant anatomy: meristems, cells, and tissues of the plant body - their structure, function and development*. Wiley, Hoboken, New Jersey, page xv, ISBN 0-471-73843-3.
- Feng H, Wang W.H., Xu N., Lu B., Zhang T., and Chen H.B. 2008. Inheritance of several plant type characters in truss tomato. *Agric. Sci. China* 7(5):535-541.
- Feng, H., T. Zhang, Y. T. Shi, W. J. Wang, and W. H. Wang. 2010. Research of plant type and light distribution of tomatoes determined by imaging technology. *African Journal*

- of Agricultural Research Vol. 5(14), pp. 1860-1867, 18 July, DOI: 10.5897/AJAR09.202.
- Foley J.D., Dam A., Feiner S.K., Hughes J.F., and Phillips R.L. 1993. Introduction to Computer Graphics. Addison-Wesley Professional.
- Fotopoulou, F., N. Laskaris, G. Economou and S. Fotopoulos, 2011. Advanced leaf image retrieval via Multidimensional Embedding Sequence Similarity (MESS) method. *Patt. Anal. Appli.* DOI: 10.1007/s10044-011-0254-6
- Harold C. Bold, C. J. Alexopoulos, and T. Delevoryas. 1987. *Morphology of Plants and Fungi*, 5th ed. (New York: Harper-Collins). ISBN 0-06-040839-1.
- Higashide, T. 2009. Light interception by tomato plants (*Solanum lycopersicum*) grown on a sloped field. *Agric. Forest Meteorol.*, 149(5): 756-762.
- Hossain, J., and Amin, M.A. 2010. Leaf shape identification based plant biometrics. Proc. 13th International Conference on Computer and Information Technology (ICIT), 23-25 Dec. Dhaka, Bangladesh
- Iwata, H., and Y. Ukai. 2002. SHAPE: A Computer Program Package for Quantitative Evaluation of Biological Shapes Based on Elliptic Fourier Descriptors. *The Journal of Heredity* 2002:93(5): 384-385
- Jain, A. K., A. Ross and S. Prabhakar. 2004. An introduction to biometric recognition. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 14, pp. 4–20.
- Jain, A.K., and Ross, A. 2008. Introduction to Biometrics. *Handbook of Biometrics*. Springer. pp. 1–22. ISBN 978-0-387-71040-2.
- Jonckheere I, Fleck S, Nackaerts K, Muysa B, Coppin P, Weiss M, Baret F. 2004. Review of methods for in situ leaf area index determination Part I. Theories, sensors and hemispherical photography. *Agric. Forest Meteorol.*, 121(1-2): 19-35.
- Leopold, A. C. 1964. *Plant Growth and Development*. (New York: McGraw-Hill).
- Lhotka, J.M., Loewenstein, E.F. 2006. Indirect measures for characterizing light along a gradient of mixed-hardwood riparian forest canopy structures. *Forest Ecol. Manage.*, 226(1-3): 310-318.
- Life. 2014. Tomato (*Solanum lycopersicum*). *Encyclopedia of Life*. Diakses pada <http://eol.org/pages/392557/overview> tanggal 1 Januari 2014.
- Lindenthal M, Steiner U, Dehne HW, and Oerke EC. 2005. Effect of downy mildew development on transpiration of cucumber leaves visualized by digital infrared thermography. *Phytopathology*. 2005 Mar; 95(3):233–40. doi: 10.1094/PHYTO-95-0233 PMID: 18943115
- LMGA AGRO, 2014. Pengaruh kelebihan dan kekurangan unsur hara makro dan mikro tanaman. Diakses pada <https://lmgaagro.wordpress.com/2014/01/31/pengaruh-kelebihan-dan-kekurangan-unsur-hara-makro-dan-mikro-tanaman-pupuk-menanam-budidaya-fungsi-dosis-aplikasi-berimbang-organik-agen-distributor-resmi-dealer/> tanggal 30 Juni 2015.
- Makky M. and Soni P., 2013. Development of an automatic grading machine for oil palm fresh fruit bunches (FFBs) based on machine vision. *Computers Electronics Agric.*, 93, 129-139.
- Makky M. and Soni P., 2013. Towards sustainable green production: exploring automated grading for oil palm fresh fruit bunches (FFB) using machine vision and spectral analysis. *Int. J. Advanced Sci. Eng. Information Technol.*, 3(1), 1-7.

- Makky M. and Soni P., 2014. In situ quality assessment of intact oil palm fresh fruit bunches using rapid portable non-contact and non-destructive approach. *J. Food Eng.*, 120, 248-259.
- Makky M., Herodian S., and Subrata I.D.M., 2004. Design and Technical test of visual sensing system for palm oil harvesting robot. *Proc. Int. Seminar on Advanced Agric. Eng. Farm Work Operation*, August 25-26, Bogor, Indonesia. pp.582-592.
- Makky M., Herodian S., Cherie D., Ahmad U., and Mandang T. 2012. Spectroscopy and Photogrammetric techniques for assessing physicochemical properties of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq) Fresh Fruits Bunch (FFB). *Proc. Research Dissemination Seminar, International Convention Center (IICC) – Bogor Agricultural University*, Bogor, 10-11 December, Indonesia.
- Makky M., Paschalidis K.A., Dima K., and Mangganaris A. 2014a. Harnessing Untapped Bio-Ethylene Sources from Tomatoes Climacteric Effluent. *Proc. International Conference on Agricultural, Environmental and Biological Sciences (AEBS-2014)* April 24-25, Phuket, Thailand. pp. 27-32.
- Makky M., Paschalidis K.A., Dima K., and Mangganaris A. 2014b. A New Rapid Gas Chromatographic Method for Ethylene, Respirational, and Senescent Gaseous Production of Climacteric Fruits Stored in Prolonged Low Temperature. *Proc. International Conference on Agricultural, Environmental and Biological Sciences (AEBS-2014)* April 24-25, Phuket, Thailand. pp. 21-26.
- Makky M., Paschalidis K.A., Dima K., and Mangganaris A., 2015. Tomato Fruits (*Solanaceae Lycopersicon esculentum* Mill.) Feedback Mechanism in The Presence of Exogenous Ethylene under Prolonged Chilling Temperature Storage. *Journal of Nutrition & Pharmacy Research*, 1(1):4-12. International Institute of science and industry research, Australia.
- Makky M., Soni P., and Salokhe V.M. 2012. Machine Vision Application in Indonesian Oil Palm Industry. *The Asian Forum of 2012 CSAM (Chinese Society for Agricultural Machinery) International Academic Annual Meeting*. “Innovation, Win-win, Development”. October 27th -30th, Hangzhou, China.
- Makky M., Soni P., and Salokhe V.M., 2014c. Automatic non-destructive quality inspection system for oil palm fruits. *Int. Agrophys.*, 28, 319-329.
- Oerke E.C., Steiner U., Dehne H.W., and Lindenthal M. 2006. Thermal imaging of cucumber leaves affected by downy mildew and environmental conditions. *Journal of Experimental Botany*. Jan; 57(9):2121–32. doi: 10.1093/jxb/erj170 PMID: 16714311
- Oerke EC, Fröhling P, Steiner U. 2011. Thermographic assessment of scab disease on apple leaves. *Precision Agriculture*. Dec; 12(5):699–715. doi: 10.1007/s11119-010-9212-3
- Pahalawatta, KK. 2008. Plant species biometric using feature hierarchies: A plant identification system using both global and local features of plant leaves. Department of Computer Science and Software Engineering, University of Canterbury. New Zealand.
- Papadopoulou, A.P., and Pararajasingham, S. 1997. The influence of plant spacing on light interception and use in greenhouse tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.): *Rev. Sci. Hortic.*, 69(1-2): 1-29.
- Rattani, A. 2010. Adaptive Biometric System based on Template Update Procedures. PhD thesis, University of Cagliari, Italy.
- Raven, P. H., R. F. Evert, dan S. E. Eichhorn. 2005. *Biology of Plants*, 7th ed., page 9. (New York: W. H. Freeman). ISBN 0-7167-1007-2.

- Raza S-e-A, Prince G, Clarkson JP, Rajpoot NM. 2015. Automatic Detection of Diseased Tomato Plants Using Thermal and Stereo Visible Light Images. PLoS ONE 10(4): e0123262. doi:10.1371/journal.pone.0123262
- Raza SEA, Smith HK, Clarkson GJJ, Taylor G, Thompson AJ, Clarkson J., 2014. Automatic Detection of Regions in Spinach Canopies Responding to Soil Moisture Deficit Using Combined Visible and Thermal Imagery. PLoS ONE. 2014 Jan; 9(6):e97612. doi: 10.1371/journal.pone.0097612 PMID: 24892284
- Reddy, J., Rao L.M., and Nachappa, M.N. 2012. A Study On Multimodal Biometric Systems And Taxonomic Identification Of Plant Species. International Journal of Advanced Computer and Mathematical Sciences. Vol 3, Issue 2, pp 250-256.
- RHS. 2014. Tomatoes: leaf problems. The Royal Horticultural Society. UK.
- Ross, S.D., Pharis, R.P., Binder, W.D. 1983. Growth regulators and conifers: their physiology and potential uses in forestry. pp. 35–78 in Nickell, L.G. (Ed.), Plant growth regulating chemicals. Vol. 2, CRC Press, Boca Raton FL.
- Rost, T.L. 1996. Tomato Anatomy: Leaf Anatomy. Section of Plant Biology Division of Biological Sciences. University of California, Davis.
- Takayama, K., Nishina, H., Iyoki, S., Arima, S., Hatou, K., Ueka, Y., and Miyoshi Y. 2011. Early detection of drought stress in tomato plants with chlorophyll fluorescence imaging: practical application of the speaking plant approach in a greenhouse. 18th IFAC World Congress, Milano, Italy. August 28 - September 2, 1785-1790.
- Takayama, K., Nishina, H., Mizutani, K., Arima, S., Hatou, K., and Miyoshi, Y. 2010. Chlorophyll fluorescence imaging for health condition monitoring of tomato plants in greenhouse. Acta Hort.
- Thoriq A., Herodian S., Makky M., Sutejo A., and Cherie D. 2012. Application of Non-destructive spectroscopy technique for determination of Oil Palm Fresh Fruits Bunch (FFB) maturity. The role of agricultural engineering to support food and energy security with environmental insight: Proc. of ISAE national seminar, ed. Hendrawan Y., Al Riza D.F., Dewi S.R., Sugiarto Y., Ubaidillah, and Fatchurrahman D. Brawijaya University, Malang, 30 Nov.-2 Dec. Indonesia. pp.178-185.
- Triyadi, R., 2011. Pengaruh penggunaan pupuk majemuk terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman tomat (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Skripsi. Fakultas teknologi industri pertanian, Universitas Padjadjaran, Bandung.
- Valliammal, N. and S.N. Geethalakshmi, 2012. A novel approach for plant leaf image segmentation using fuzzy clustering. Int. J. Comput. Applic., Foundat. Comput. Sci., 44: 10-20. DOI: 10.5120/6322-8669.
- Weaver, A.C. 2006. Biometric Authentication. Computer, 39 (2), p. 96-97. DOI 10.1109/MC.2006.47.
- Wirz, J., dan Richter, R. 2007. Morphological Effects of Genetic Manipulation. In context #17 Spring p.5. The Nature Institute.
- Wu, S.G., F.S. Bao, E.Y. Xu, Y.X. Wang and Y.F. Chang et al., 2007. A leaf recognition algorithm for plant classification using probabilistic neural network. Proceedings of the IEEE 7th International Symposium on Signal Processing and Information Technology, Dec. 15-18, IEEE Xplore Press, Giza, pp: 11-16.
- Zamri, H., 2014. Pengaruh dosis pupuk kompos terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman tomat. Diakses pada <https://hendrazamri.wordpress.com/2012/10/20/pengaruh-dosis-pupuk-kompos-terhadap-pertumbuhan-dan-hasil-tanaman-tomat/> tanggal 30 Juni 2015.

# LAMPIRAN

## Lampiran 1. Dokumentasi Penelitian



# LAMPIRAN



# LAMPIRAN

