

PERTUMBUHAN DAN PERKEMBANGAN TANAMAN

Buku berjudul "PERTUMBUHAN DAN PERKEMBANGAN TANAMAN" disusun dari 10 Bab. Bab 1 membahas tentang pengertian pertumbuhan dan perkembangan tanaman serta fase-fase pertumbuhan. Bab 2 dilengkapi dengan contoh cara perhitungan dan membuat kurva pertumbuhan tanaman. Bab 3 membahas faktor-faktor yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman. Bab 4 membahas tentang macam pengamatan, analisis pertumbuhan tanaman, dan cara-cara perhitungan dalam menganalisis pertumbuhannya. Bab 5 membahas tentang faktor-faktor yang mempengaruhi pertumbuhan generatif ke generatif tanaman. Bab 6 membahas pembungaan, penyerbukan, dan pembuahan tanaman. Bab 7 mengkaji perkembangan buah meliputi pengisian buah dan pembesarannya. Bab 8 membahas tentang cara pengamatan komponen hasil tanaman, pengamatan dengan menggunakan petak ubinan, dan cara analisis komponen hasil. Bab 9 membahas tentang hubungan langsung maupun tidak langsung komponen pertumbuhan dan komponen hasil terhadap hasil tanaman. Bab 10 membahas tentang kompetisi antar tanaman, modifikasi kerapatan tanaman, memprediksi indeks luas daun (ILD) optimum dan faktor-faktor yang mempengaruhi kerapatan tanaman.

Buku ajar ini disusun berdasarkan pengalaman penulis saat membaca buku-buku referensi, jurnal-jurnal ilmiah, persiapan penyusunan materi kuliah di kelas, dan membimbing mahasiswa dalam menyusun tugas akhirnya. Pada sebagian dari Bab buku ini sengaja disertai contoh-contoh perhitungan tentang metode analisis pertumbuhan tanaman. Buku ini dapat digunakan sebagai acuan bagi mahasiswa Fakultas Pertanian, khususnya Program Studi Agroteknologi dalam menyelesaikan tugas akhir. Contoh-contoh perhitungan dan gambar-gambar yang disajikan dalam buku ini diharapkan dapat mempermudah pembaca untuk mempelajari dan memahami materi dengan benar.

PERTUMBUHAN DAN PERKEMBANGAN TANAMAN

Dr. Ir. Paiman, M.P.

2022

Dr. Ir. Paiman, M.P.

PERTUMBUHAN DAN PERKEMBANGAN TANAMAN



Penerbit
UPY Press

Perpustakaan Nasional RI: Katalog Dalam Terbitan (KDT)

Penulis:

Dr. Ir. Paiman, M.P.

Pertumbuhan dan Perkembangan Tanaman

x + 161 hal, 17 cm × 23 cm

ISBN: 978-623-7668-42-8

Editor:

Dr. Ir. Achmad Fatchul Aziez, M.P.

Penyunting:

Arip Pebrianto, S.Pd.I., M.Pd.I

Layout:

Prayitno

Cover:

Reza Diapratama

Penerbit:

UPY Press

Alamat Redaksi:

Universitas PGRI Yogyakarta

Jl. PGRI I Sonosewu No. 117, Yogyakarta

Telp (0274) 376808, 373198, 418077 Fax. (02740) 376808

Email: upypress@gmail.com

<http://www.upy.ac.id>

Cetakan pertama, Mei 2022

Hak cipta dilindungi oleh Undang-Undang

Dilarang memperbanyak karya tulisan ini tanpa izin tertulis dari Penerbit.

Dr. Ir. Paiman, M.P.

PERTUMBUHAN DAN PERKEMBANGAN TANAMAN



Penerbit
UPY Press

Perpustakaan Nasional RI: Katalog Dalam Terbitan (KDT)

Penulis:

Dr. Ir. Paiman, M.P.

Pertumbuhan dan Perkembangan Tanaman

x + 161 hal, 17 cm × 23 cm

ISBN: 978-623-7668-42-8

Editor:

Dr. Ir. Achmad Fatchul Aziez, M.P.

Penyunting:

Arip Pebrianto, S.Pd.I., M.Pd.I

Layout:

Prayitno

Cover:

Reza Diapratama

Penerbit:

UPY Press

Alamat Redaksi:

Universitas PGRI Yogyakarta

Jl. PGRI I Sonosewu No. 117, Yogyakarta

Telp (0274) 376808, 373198, 418077 Fax. (02740) 376808

Email: upypress@gmail.com

<http://www.upy.ac.id>

Cetakan pertama, Mei 2022

Hak cipta dilindungi oleh Undang-Undang

Dilarang memperbanyak karya tulisan ini tanpa izin tertulis dari Penerbit.

PRAKATA

Penulis panjatkan puji dan syukur kehadlirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah serta inayahnya hingga terwujudnya pikiran penulis dapat termuat dalam buku ini.

Buku berjudul **"PERTUMBUHAN DAN PERKEMBANGAN TANAMAN"** disusun dari 10 Bab. Bab 1 membahas tentang pengertian pertumbuhan dan perkembangan tanaman serta fase-fase pertumbuhan. Bab 2 dilengkapi dengan contoh cara perhitungan dan membuat kurva pertumbuhan tanaman. Bab 3 membahas faktor-faktor yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman. Bab 4 membahas tentang macam pengamatan, analisis pertumbuhan tanaman, dan cara-cara perhitungan dalam menganalisis pertumbuhannya. Bab 5 membahas tentang faktor-faktor yang mempengaruhi pertumbuhan generatif ke generatif tanaman. Bab 6 membahas pembungaan, penyerbukan, dan pembuahan tanaman. Bab 7 mengkaji perkembangan buah meliputi pengisian buah dan pembesarannya. Bab 8 membahas tentang cara pengamatan komponen hasil tanaman, pengamatan dengan menggunakan petak ubinan, dan cara analisis komponen hasil. Bab 9 membahas tentang hubungan langsung maupun tidak langsung komponen pertumbuhan dan komponen hasil terhadap hasil tanaman. Bab 10 membahas tentang kompetisi antar tanaman, modifikasi kerapatan tanaman, memprediksi indeks luas daun (ILD) optimum dan factor-faktor yang mempengaruhi kerapatan tanaman.

Buku ajar ini disusun berdasarkan pengalaman penulis saat membaca buku-buku referensi, jurnal-jurnal ilmiah, persiapan penyusunan materi kuliah di kelas, dan membimbing mahasiswa dalam menyusun tugas akhirnya. Pada sebagian dari Bab buku ini sengaja disertai contoh-contoh perhitungan tentang metode analisis pertumbuhan tanaman. Buku ini dapat digunakan sebagai acuan bagi mahasiswa Fakultas Pertanian, khususnya Program Studi Agroteknologi dalam menyelesaikan tugas akhir. Contoh-contoh perhitungan dan gambar-gambar yang disajikan dalam buku ini diharapkan dapat mempermudah pembaca untuk mempelajari dan memahami materi dengan benar.

Diharapkan buku ini dapat bermanfaat bagi para mahasiswa, pengajar dan peneliti maupun masyarakat. Penulis menyadari bahwa isi dari buku ini masih banyak kekurangannya. Oleh sebab itu penulis mengharapkan kritik dan saran dari pembaca yang selalu ditunggu dalam rangka perbaikan buku ajar ini sehingga materi yang terkandung sesuai dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi saat ini dan ke depan.

Yogyakarta, Mei 2022

Penulis

DAFTAR ISI

| | Halaman |
|--|-----------|
| HALAMAN JUDUL | i |
| PRAKATA | iii |
| DAFTAR ISI | iv |
| DAFTAR GAMBAR | vii |
| DAFTAR TABEL | ix |
| BAB 1 PERTUMBUHAN DAN PERKEMBANGAN TANAMAN | 1 |
| 1.1. Pendahuluan | 1 |
| 1.2. Pertumbuhan dan Perkembangan | 1 |
| 1.3. Fase Pertumbuhan | 4 |
| 1.3.1. Fase embrionis | 4 |
| 1.3.2. Fase muda (<i>juvenile</i> atau vegetatif) | 5 |
| 1.3.3. Fase dewasa (<i>maturity</i> atau reproduktif atau generatif) | 6 |
| 1.3.4. Fase penuaan dan aging (<i>senile</i> atau <i>senescence</i>) | 7 |
| BAB 2 KURVE PERTUMBUHAN | 10 |
| 2.1. Pendahuluan | 10 |
| 2.2. Kurve Logistik | 11 |
| 2.3. Kurve Sigmoid | 24 |
| 2.4. Kurve Eksponensial | 40 |
| BAB 3 FAKTOR YANG MEMPENGARUHI PERTUMBUHAN TANAMAN | 52 |
| 3.1. Pendahuluan | 52 |
| 3.2. Hormon (faktor interseluler) | 53 |
| 2.2.1. Auxin | 53 |
| 2.2.2. Giberellin Acid (GA) | 54 |
| 2.2.3. Gas Etilen | 54 |
| 2.2.4. Sitokinin | 55 |
| 2.2.5. Asam Absisat (ABA) | 55 |
| 3.3. Faktor Lingkungan (Faktor External) | 56 |
| 2.3.1. Unsur hara | 56 |
| 2.3.2. Cahaya | 57 |
| 2.3.3. Suhu | 59 |
| 2.3.4. Kelembaban | 59 |
| 2.3.5. Aerasi Tanah | 60 |
| 2.3.6. Karbon dioksida | 60 |
| 2.3.7. Bahan organik | 60 |
| 2.3.8. Air | 61 |
| BAB 4 ANALISIS PERTUMBUHAN VEGETATIF TANAMAN | 62 |
| 4.1. Pendahuluan | 62 |

| | |
|--|------------|
| 4.2. Macam dan Cara Pengamatan Pertumbuhan | 62 |
| 4.2.1. Presentase tanaman mati | 62 |
| 4.2.2. Volume tanaman | 63 |
| 4.2.3. Tinggi tanaman | 64 |
| 4.2.4. Diameter batang | 65 |
| 4.2.5. Panjang akar | 66 |
| 4.2.6. Luas daun | 67 |
| 4.2.7. Klorofil Daun | 75 |
| 4.2.8. Bobot kering tanaman | 76 |
| 4.3. Cara pengamatan pertumbuhan secara periodik | 78 |
| 4.3.1. Tanaman semusim | 79 |
| 4.3.2. Tanaman tahunan | 81 |
| 4.4. Analisis Pertumbuhan Tanaman | 81 |
| 4.4.1. Indeks Luas Daun (ILD) | 81 |
| 4.4.2. Bobot daun khas (BDK) | 82 |
| 4.4.3. Laju asimilasi bersih (LAB) | 82 |
| 4.4.4. Laju pertumbuhan tanaman (LPT) | 82 |
| 4.4.5. Laju pertumbuhan nisbi (LPN) | 83 |
| 4.4.6. Leaf area ratio (LAR) | 83 |
| 4.5. Cara Analisis Pertumbuhan Tanaman | 84 |
| 4.6. Pengamatan Sekapan Cahaya Matahari | 89 |
| BAB 5 PERTUMBUHAN GENERATIF TANAMAN | 91 |
| 5.1. Pendahuluan | 91 |
| 5.2. Faktor-faktor yang Berpengaruh..... | 92 |
| 5.2.1. Faktor suhu | 93 |
| 5.2.2. Fotoperiode | 93 |
| 5.2.3. <i>Water stress</i> | 97 |
| 5.2.4. Adanya faktor lingkungan yang baik | 101 |
| BAB 6 PEMBUNGAAN, PENYERBUKAN, DAN PEMBUAHAN | 102 |
| 6.3. Pembungaan (<i>Flowering</i>) | 102 |
| 6.4. Penyerbukan (Pollination) | 103 |
| 6.5. Pembuahan (Fertilization) | 104 |
| BAB 7 PERKEMBANGAN BUAH | 107 |
| 7.1. Kemampuan membentuk karbohidrat | 107 |
| 7.2. Periode Pengisian Buah (<i>fruit filling periode</i>) | 111 |
| 7.3. Kemampuan menyimpan fotosintat yg tinggi | 114 |
| 7.4. Hasil fotosintesis harus terbagi pada tempat yang tepat di dalam tubuh tanaman | 114 |
| BAB 8 ANALISIS PERTUMBUHAN GENERATIF TANAMAN | 116 |
| 8.1. Pendahuluan | 116 |

| | |
|--|------------|
| 8.2. Pengamatan Komponen Hasil Tanaman | 116 |
| 8.3. Cara Pengamatan dengan Menggunakan Petak Ubinan | 119 |
| 8.3.1. Tanaman Kacang Tanah | 120 |
| 8.3.2. Tanaman Cabai | 121 |
| 8.4. Cara Analisis Komponen Hasil | 122 |
| 8.4.1. Indeks panen | 122 |
| 8.4.2. Konversi hasil per satuan luas | 122 |
| BAB 9 HUBUNGAN PERTUMBUHAN DAN HASIL TANAMAN | 126 |
| 9.1. Pendahuluan | 126 |
| 9.2. Hubungan antar Komponen Pertumbuhan dan Hasil | 126 |
| 9.3. Bagan Alir Analisis Lintasan | 132 |
| 9.4. Pengaruh komponen pertumbuhan dan komponen Hasil terhadap Bobot Buah per Tanaman | 135 |
| BAB 10 KERAPATAN TANAMAN | 137 |
| 10.1. Pendahuluan | 137 |
| 10.2. Kompetisi antar Tanaman | 137 |
| 10.3. Modifikasi Kerapatan Tanam | 139 |
| 10.3.1. Tanam padi sistem jajar legowo | 140 |
| 10.3.2. Tanam jagung sistem jajar legowo | 143 |
| 10.4. Memprediksi Indeks Luas Daun (ILD) Optimum | 146 |
| 10.5. Faktor yang mempengaruhi kerapatan tanaman | 152 |
| 10.5.1. Jenis tanaman | 152 |
| 10.5.2. Sifat habitus dari tanaman | 153 |
| 10.5.3. Waktu | 155 |
| DAFTAR PUSTAKA | 156 |
| GLOSARIUM | 158 |
| AUTOBIOGRAFI PENULIS | 161 |

DAFTAR GAMBAR

| | | Halaman |
|-------------|---|---------|
| Gambar 1.1 | Pertumbuhan dan Perkembangan Tanaman Jagung | 2 |
| Gambar 1.2 | Alat Pengukur Pertumbuhan Tanaman | 2 |
| Gambar 1.3 | Biji Jagung dan Bagian-bagiannya | 4 |
| Gambar 1.4 | Perkecambahan Biji dan Pertumbuhan Tanaman Jagung | 6 |
| Gambar 1.5 | Morfologi Tanaman Jagung pada Saat Pengisian Tongkol | 7 |
| Gambar 1.6 | Fase Penuaan dan Aging | 8 |
| Gambar 2.1 | Fase-fase Pertumbuhan Tinggi Tanaman (cm) | 10 |
| Gambar 2.2 | Hubungan Umur Tanaman (HST) dan Diameter Batang Cabai (mm) pada Berbagai Jarak Tanam | 24 |
| Gambar 2.3 | Hubungan Umur Tanaman (HST) dan Tinggi Tanaman Kacang Tanah (cm) pada Perlakuan Pupuk Kandang | 40 |
| Gambar 2.4 | Hubungan Umur Tanaman (HST) dan Diameter Batang Jati (cm) pada Berbagai Jarak Tanam | 51 |
| Gambar 3.1 | Hubungan Faktor Genetik dan Lingkungan terhadap Pertumbuhan Tanaman | 52 |
| Gambar 4.1 | Cara Mengukur Volume Tanaman | 63 |
| Gambar 4.2 | Cara Mengukur Tinggi Tanaman Dikotil | 64 |
| Gambar 4.3 | Cara Mengukur Tinggi Tanaman Monokotil | 64 |
| Gambar 4.4 | Jangka Sorong | 65 |
| Gambar 4.5 | Cara Mengukur Diameter Batang Tanaman | 65 |
| Gambar 4.6 | Cara mengukur Panjang Akar Tanaman Monokotil | 66 |
| Gambar 4.7 | Cara Mengukur Panjang Akar Tanaman Dikotil | 67 |
| Gambar 4.8 | Cara Mengukur Luas Daun dengan Metode Gravimetri | 68 |
| Gambar 4.9 | Cara Mengukur Luas Daun dengan Metode Plong | 69 |
| Gambar 4.10 | Cara Mengukur Luas Daun dengan Panjang × Lebar | 70 |
| Gambar 4.11 | Alat Pengukur Luas daun <i>Leaf Area Meter</i> | 75 |
| Gambar 4.12 | Alat Pengukur Kadar Klorofil Daun <i>Spectrophotometer</i> | 75 |
| Gambar 4.13 | Alat Pengukur Bobot Kering Tanaman Timbangan Digital | 77 |
| Gambar 4.14 | Cara Pengamatan Tanaman Sampel pada Petak Ubinan | 79 |
| Gambar 4.15 | Cara Pengamatan Tanaman Sampel dan Petak Ubinan | 80 |
| Gambar 4.16 | Alat Pengukur Intensitas Cahaya <i>Light Meter</i> | 89 |
| Gambar 5.1 | Hasil Ekonomi Tanaman Tebu dan Padi | 92 |
| Gambar 5.2 | Hubungan Waktu (dengan CH tertentu) dan Hasil Cokelat | 97 |
| Gambar 6.1 | Bunga dan Bagian-bagiannya | 103 |
| Gambar 6.2 | Tahapan Proses Penyerbukan (<i>Pollination</i>) | 104 |
| Gambar 6.2 | Tahapan Proses Pembuahan (<i>Fertilization</i>) | 105 |

| | | |
|-------------|---|-----|
| Gambar 7.1 | Sifat Kanopi Tanaman Padi | 108 |
| Gambar 7.2 | Sifat Kanopi Tanaman Mangga | 109 |
| Gambar 7.3 | Perbedaan Sifat Kanopi Tanaman | 110 |
| Gambar 7.4 | Perbedaan Ukuran Daun | 110 |
| Gambar 7.5 | Perbedaan Bentuk Daun | 111 |
| Gambar 7.6 | Tanaman Pepaya California | 112 |
| Gambar 7.7 | Hubungan LAI, Intensitas Cahaya, dan Kecepatan Pertumbuhan | 113 |
| Gambar 7.8 | Hubungan Vaculer antara <i>Source</i> dan <i>Sink</i> | 115 |
| Gambar 8.1 | Variabel Pengamatan Hasil Tanaman | 117 |
| Gambar 8.2 | Pengamatan Panen Diambil dari Petak Ubinan | 120 |
| Gambar 8.3 | Cara Pengamatan Tanaman Sampel dan Ubinan pada Tanaman Cabai | 121 |
| Gambar 8.4 | Konversi Hasil per Satuan Luas pada Lahan tanpa Parit | 123 |
| Gambar 8.5 | Konversi Hasil per Satuan Luas pada Lahan dengan Parit | 124 |
| Gambar 9.1 | Diagram Analisis Lintasan antar Variabel Bebas dan Tergantung | 127 |
| Gambar 9.2 | Bagan Alir Sementara Pengaruh Komponen Pertumbuhan dan Hasil terhadap Bobot Buah per Tanaman | 132 |
| Gambar 9.3 | Bagan Alir Analisis Lintasan Pengaruh Komponen Pertumbuhan dan Hasil terhadap Bobot Buah per Tanaman ... | 134 |
| Gambar 10.1 | Kompetisi antar Satu Jenis Tanaman | 138 |
| Gambar 10.2 | Jarak Tanam Padi Sistem Jajar Legowo | 141 |
| Gambar 10.3 | Jarak Tanam Jagung Sistem Jajar Legowo 2:1 | 144 |
| Gambar 10.4 | Jarak Tanam Jagung Sistem Jajar Legowo 2:1 (2 tanaman per lubang) | 145 |
| Gambar 10.5 | Jarak Tanam Sistem Jajar Legowo 2:1 (Sistem Tanam Sisip) ... | 145 |
| Gambar 10.6 | Hubungan ILD dan Hasil Tanaman | 147 |
| Gambar 10.7 | Hubungan ILD optimum dan Hasil Maksimum | 152 |
| Gambar 10.8 | Hubungan Kerapatan Tanaman dan Hasil Tanaman | 153 |
| Gambar 10.9 | Hubungan Umur Panen dan Hasil Tanaman | 154 |

DAFTAR TABEL

| | Halaman |
|---|---------|
| Tabel 2.1 Diameter Batang Cabai TM 888 (cm) pada Berbagai Umur Tanaman dengan Perlakuan Jarak Tanam | 11 |
| Tabel 2.2 Diameter Batang Diubah ke Angka Logaritma Natural (ln) pada Jarak Tanam 50 × 30 cm | 12 |
| Tabel 2.3 Data Umur Tanaman (X) dan Diameter Batang (Y) pada Jarak Tanam 50 × 30 cm | 13 |
| Tabel 2.4 Metode Abreviate Doollitle pada Jarak tanam 50 × 30 cm | 13 |
| Tabel 2.5 Data Umur Tanaman (X) dan Diameter Batang (Y) pada Jarak Tanam 50 × 50 cm | 16 |
| Tabel 2.6 Diameter Batang (mm) Diubah ke Angka Logaritma Natural (Ln) pada Jarak Tanam 50 × 50 cm | 16 |
| Tabel 2.7 Metode Abreviate Doollitle pada Jarak Tanam 50 × 50 cm | 16 |
| Tabel 2.8 Data Umur Tanaman (X) dan Diameter Batang (Y) pada Jarak Tanam 50 × 70 cm | 19 |
| Tabel 2.9 Umur Tanaman (X) dan Diameter Batang (Y) pada Jarak Tanam 50 × 70 cm | 19 |
| Tabel 2.10 Metode Abreviate Doollitle pada Jarak Tanam 50 × 70 cm | 20 |
| Tabel 2.11 Umur Tanaman, Nilai Y' (Y Predicted) dan nilai Y (Observed) pada Jarak Tanam 50 x 30, 50 x 50, dan 50 x 70 cm | 22 |
| Tabel 2.12 Tinggi tanaman Kacang Tanah (cm) pada Berbagai Umur dengan Perlakuan Jenis Pupuk Kandang | 24 |
| Tabel 2.13 Umur (x) dan Tinggi Tanaman (y) pada Kontrol | 26 |
| Tabel 2.14 Metode Abreviate Doollitle pada Kontrol | 26 |
| Tabel 2.15 Umur (x) dan Tinggi Tanaman (y) pada Pupuk Kandang Ayam | 30 |
| Tabel 2.16 Metode Abreviate Doollitle pada Pupuk Kandang Ayam | 31 |
| Tabel 2.17 Umur (x) dan Tinggi Tanaman (y) pada Pupuk Kandang Sapi | 34 |
| Tabel 2.18 Metode Abreviate Doollitle pada Pupuk Kandang Sapi | 35 |
| Tabel 2.19 Umur Tanaman, Nilai Y' (Predicted) dan Nilai Y (Observed) pada Perlakuan Kontrol, Pupuk Kandang Ayam, dan Sapi | 38 |
| Tabel 2.20 Waktu pengamatan (TST) dan Diameter Batang Tanaman (cm) pada Tiga Jarak Tanam (m) | 41 |
| Tabel 2.21 Umur Tanaman (TST) dan Diameter Batang Tanaman (cm) dalam Logaritma Natural pada Tiga Jarak Tanam (m) | 41 |
| Tabel 2.22 Umur Tanaman (X) dan Diameter Batang (Y) pada Jarak Tanam 3 × 2 m | 41 |
| Tabel 2.23 Metode Abreviate Doollitle pada Jarak Tanam 3 × 2 m | 42 |

| | |
|--|-----|
| Tabel 2.24 Umur Tanaman (X) dan Diameter Batang (Y) pada Jarak Tanam 3 × 3 m | 44 |
| Tabel 2.25 Metode Abreviate Doollitle pada Jarak Tanam 3 × 3 m | 44 |
| Tabel 2.26 Umur Tanaman (X) dan Diameter Batang (Y) pada Jarak Tanam 3 × 4 m | 47 |
| Tabel 2.27 Metode Abreviate Doollitle pada Jarak Tanam 3 × 4 m | 47 |
| Tabel 2.28 Umur Tanaman, Nilai Y' (Predicted) dan Nilai Y (Observed) pada Jarak Tanam 3 × 2, 3 × 3, dan 3 × 4 m | 50 |
| Tabel 4.1 Perhitungan Luas Daun dari Alat dan Perkalian Panjang × Lebar ... | 71 |
| Tabel 4.2 Penentuan Rumus Luas Daun pada Tanaman Mangga Gadung | 72 |
| Tabel 4.3 Luas Daun Satu Bibit Tanaman Mangga Gadung | 74 |
| Tabel 4.4 Luas Daun dan Bobot Kering Tanaman Cabai pada Jarak Tanam 50 × 30 cm | 84 |
| Tabel 4.5 Data Luas Daun dan Bobot Kering Tanaman pada Umur 3 dan 6 MST | 87 |
| Tabel 9.1 Data Komponen Pertumbuhan dan Hasil | 129 |
| Tabel 9.2 Matriks Korelasi antar Komponen Pertumbuhan dan Komponen Hasil Serta Hasil Cabai (Perhitungan dengan Program SPSS) | 131 |
| Tabel 9.3 Pengaruh tidak Langsung dan Langsung Komponen Pertumbuhan dan Hasil terhadap Bobot Buah Cabai | 135 |
| Tabel 10.1 Hubungan ILD dan Bobot Buah per Tanaman | 148 |
| Tabel 10.2 Analisis Regresi Kuadratik Hubungan LAI dan Bobot Buah per Tanaman | 150 |

BAB 1

PERTUMBUHAN DAN PERKEMBANGAN TANAMAN

1.1. Pendahuluan

Tanaman merupakan salah satu makhluk hidup yang memiliki ciri-ciri kehidupan yaitu mampu memperoleh zat makanan, mampu merespon rangsangan dari luar (lingkungan), mampu mengedarkan zat-zat di dalam tubuhnya, mampu mencerna makanan, melakukan respirasi, melaksanakan sintesis, mampu tumbuh dan berkembangbiak.

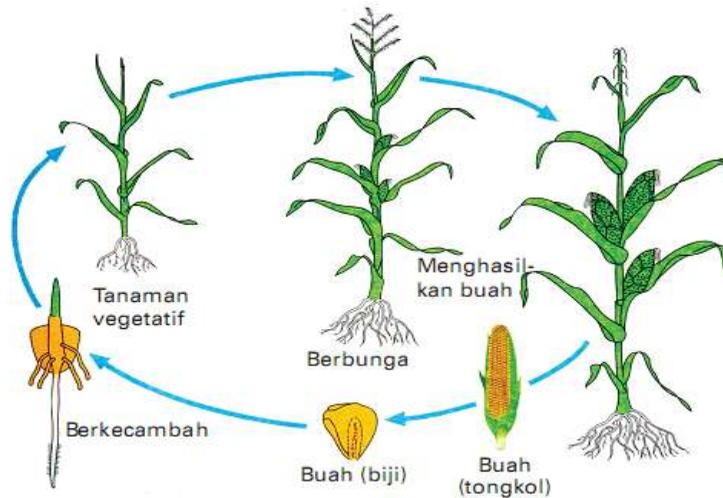
Pertumbuhan (*growth*) dan perkembangan (*development*) merupakan satu perubahan yang terjadi dalam tubuh tanaman dalam satu siklus hidupnya. Pertumbuhan dan perkembangan tanaman bukan peristiwa yang identik, tetapi merupakan dua proses yang saling berhubungan erat.

1.2. Pertumbuhan dan Perkembangan

Pertumbuhan tanaman adalah penambahan volume yang bersifat tak terbalikan (*irreversible*) yang diikuti oleh penambahan bobot kering, misalnya: biji jagung ditanam, selanjutnya berkecambah, dan setelah 10 hari kemudian volumenya bertambah dari kecil menjadi besar (Gambar 1.1).

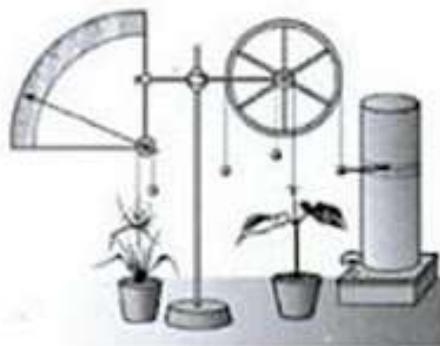
Namun, penambahan volume tanaman ada kalanya tidak diikuti oleh penambahan bobot kering, yaitu perkecambahan biji di tempat yang gelap (etiolasi). Makanan hanya diambil dari cadangan makanan (pembongkaran) dan tanaman tidak melakukan fotosintesis karena tidak ada cahaya matahari (kondisi gelap). Cadangan makanan selain untuk membentuk sel-sel baru juga dioksidasi untuk respirasi, sehingga sebagian cadangan makanan dalam biji akan berkurang ($C_6H_{12}O_6 \rightarrow CO_2 + H_2O + E$) sehingga bobot kering biji akan menurun. Proses respirasi pada biji akan menghasilkan tenaga (E) untuk pertumbuhan.

Pertumbuhan merupakan perubahan secara kuantitatif selama satu siklus hidup tanaman dan bersifat tak terbalikan. Pertambahan besar (volume) maupun bertambahnya bobot kering tanaman atau bagian tanaman lain (organ) dikarenakan adanya penambahan unsur-unsur struktural baru.



Gambar 1.1. Pertumbuhan dan Perkembangan Tanaman Jagung
 Sumber: (Hamzah, 2014)

Peningkatan ukuran tanaman yang tak terbalikan sebagai akibat dari pembelahan dan pembesaran sel, misalnya: penambahan ukuran sel, jaringan, dan organ tanaman. Gambar 1.2 merupakan alat untuk mengukur pertumbuhan tanaman dan dinamakan *auksanometer*.



Gambar 1.2. Alat Pengukur Pertumbuhan Tanaman

Perkembangan merupakan suatu proses perubahan secara kualitatif atau mengikuti pertumbuhan tanaman atau bagian-bagiannya. Proses hidup yang terjadi di dalam tubuh tanaman meliputi pertumbuhan, diferensiasi sel, dan morfogenesis. Misalnya: perubahan dari fase vegetatif ke generatif.

Diferensiasi adalah suatu keadaan dimana sel-sel meristematis berkembang menjadi dua macam atau lebih sel/jaringan/organ tanaman yang secara kualitatif berbeda satu dengan lainnya. Diferensiasi merupakan proses hidup yang menyangkut transformasi dari sel tertentu ke sel-sel yang lain menurut spesialisasinya (dalam hal proses biokimia, fisiologis maupun struktural). Misalnya: pembentukan jaringan xylem dan floem pada tubuh tanaman.

Morfogenesis merupakan proses hidup yang menyangkut interaksi antara pertumbuhan dan diferensiasi oleh beberapa sel yang memacu terbentuknya organ. Misalnya: pembentukan daun, batang, bunga, dan buah serta akar. Sel meristematis adalah sel muda yang masih aktif membelah, sedangkan jaringan meristematis merupakan suatu jaringan yang sel-selnya masih aktif membelah.

Pertumbuhan tanaman ditunjukkan oleh adanya penambahan ukuran dan bobot kering yang tak terbalikan. Pertambahan ukuran sel mempunyai batas tertentu yang diakibatkan hubungan antara volume dan luas permukaan tanaman. Pertambahan protoplasma berlangsung melalui suatu rentetan peristiwa yang meliputi pembentukan karbohidrat (hasil fotosintesis), absorpsi, translokasi, metabolisme, dan transpirasi.

Pertumbuhan tanaman terjadi pada sel-sel atau jaringan meristem yang masih aktif membelah. Adapun tempat pertumbuhan tanaman (jaringan meristem) terletak pada ujung suatu organ (meristem apikal). Meristem apikal biasanya bersifat embrionik dan mampu tumbuh dalam waktu yang tidak terbatas, sehingga disebut juga *indeterminate meristem*, misalnya pada ujung batang maupun akar.

Meristem lateral adalah meristem yang berkaitan dengan pertumbuhan membesar ke arah samping (arah lateral), misalnya: pada jaringan kambium dan kambium gabus (*fellogen*). Meristem interkalar merupakan meristem yang terletak antara daerah jaringan yang telah terdiferensiasi. Meristem ini kebanyakan terdapat pada tanaman penghasil biji-bijian yaitu pada famili *Gramineae*. Pada organ tumbuhan lain, misalnya pada bunga, akar, dan buah memiliki pola pertumbuhan yang agak berbeda dibandingkan batang, dan hanya bersifat embrionik dalam jangka waktu tertentu sehingga disebut *determinate meristem*.

Perkembangan tanaman merupakan suatu kombinasi dari sejumlah proses yang kompleks, yaitu proses pertumbuhan dan diferensiasi yang mengarah pada akumulasi bobot kering tanaman. Proses diferensiasi mempunyai tiga syarat, yaitu:

- 1). Hasil asimilasi yang tersedia dalam keadaan berlebihan untuk dapat dimanfaatkan pada kegiatan metabolisme,
- 2). Temperatur yang menguntungkan,
- 3). Terdapat sistem enzim yang tepat sebagai perantara proses diferensiasi.

1.3. Fase Pertumbuhan

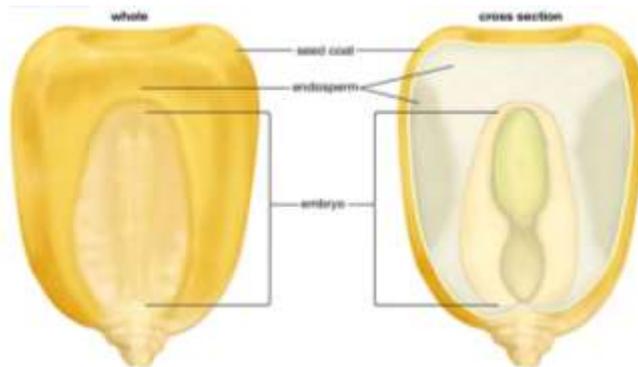
Pertumbuhan tanaman bermula dari terjadinya zigot, selanjutnya terbentuk embrio, diikuti pembelahan dan pengembangan sel, dan akhirnya terjadi proses perkecambahan biji. Setelah biji berkecambah menjadi bibit, maka seterusnya akan tumbuh menjadi tanaman dan terus berkembang. Pertumbuhan bibit diikuti dengan pertumbuhan dan perkembangan organ-organ tanaman. Akhir dari siklus hidup tanaman ditandai dengan penuaan atau *senescence* dan akhirnya mati.

Pertumbuhan tanaman pada dasarnya sebagai akibat dari pembesaran dan pembelahan sel. Perkembangan tanaman dapat dilihat dari proses pembentukan jaringan dan organ-organ sehingga masing-masing individu tanaman mempunyai bentuk morfologi yang khas atau spesifik.

Selama pertumbuhan dan perkembangannya, tanaman akan membentuk bermacam-macam organ, baik organ vegetatif maupun generatif. Pertumbuhan dan perkembangan tanaman meliputi berbagai tahapan, yaitu mulai tahap embrionis, tahap muda dari pertumbuhan dan perkembangan tanaman, dilanjutkan dengan tahap pertumbuhan dan perkembangan organ-organ reproduktif (bunga, buah, dan biji, atau ubi atau umbi), dan akan diakhiri dengan kematian tanaman.

Pertumbuhan dan perkembangan tanaman dapat dibagi menjadi empat fase, yaitu: 1). Fase embrionis, 2). Fase muda (*juvenile* atau vegetatif), 3). Fase dewasa (*mature* atau reproduktif atau generatif), dan 4). Fase menua dan aging (*senile* atau *senescence*).

1.3.1. Fase embrionis



Gambar 1.3. Biji Jagung dan Bagian-bagiannya

Sumber: (Petruzzello, 2022)

Fase embrionis diawali dari pembentukan zigot sampai terjadinya embrio, dan terjadi di dalam bakal biji (*ovule*). Pertumbuhan zigot diikuti dengan pembelahan sel, sesudah itu terjadi pengembangan sel. Fase embrionis ini tidak terlihat oleh panca indra secara nyata dalam pertumbuhan tanaman, karena berlangsung di dalam biji.

1.3.2. Fase muda (*juvenile* atau vegetatif)

Fase muda dimulai dari sejak biji berkecambah, tumbuh menjadi bibit, dan dicirikan oleh pembentukan daun-daun pertama, dan berlangsung terus-menerus hingga masa berbunga atau berbuah pertama.

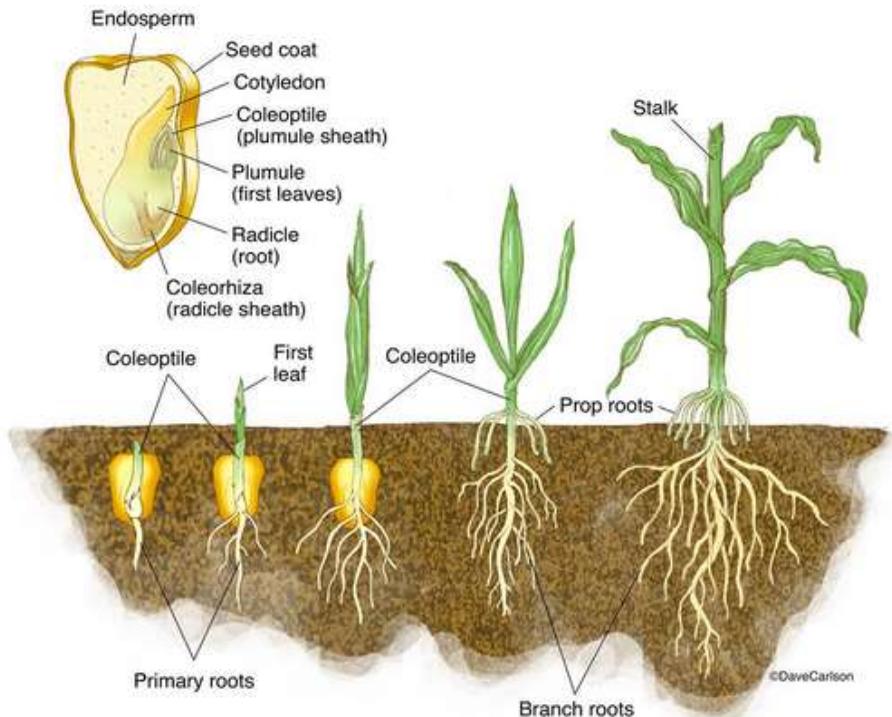
Perkecambahan merupakan satu rangkaian yang kompleks dari perubahan-perubahan morfologis, fisiologis, dan biokimia. Fase perkecambahan meliputi beberapa tahap, yaitu:

- a. Tahap 1: imbibisi adalah proses penyerapan air oleh benih sehingga kulit benih melunak dan terjadinya hidrasi dari protoplasma,
- b. Tahap 2: perombakan cadangan makanan terjadi di dalam endosperm,
- c. Tahap 3: perombakan bahan-bahan makanan yang dilakukan oleh enzim, yaitu: amylase, protease, dan lipase. Karbohidrat dirombak jadi glukosa. Protein dirombak menjadi asam amino, dan lemak dirombak menjadi asam lemak dan gliserol.
- d. Tahap 4: translokasi makanan ke titik tumbuh. Setelah penguraian bahan-bahan karbohidrat, protein dan lemak diubah menjadi bentuk-bentuk yang terlarut, kemudian ditranslokasikan ke titik tumbuh.
- e. Tahap 5: pembelahan dan pembesaran sel. Asimilasi dari bahan-bahan yang telah diuraikan di daerah meristematik menghasilkan energi untuk kegiatan pembentukan komponen dan pertumbuhan sel-sel baru.
- f. Tahap 6: munculnya radikel dan plumula. Akhirnya radikel dan plumula muncul dari kulit benih. Keluarnya calon akar (radikel) dari biji sampai keluarnya ujung kecambah (plumula) ke permukaan tanah (yang disebut perkecambahan) akan dilanjutkan dengan pertumbuhan bibit sampai terjadinya penyempurnaan fungsi masing-masing organ tanaman. Seterusnya radikel segera menyempurnakan diri menjadi akar, dan akar siap melakukan berbagai fungsinya. Plumula berkembang menjadi batang dan daun.

Periode fase muda bervariasi tergantung dari jenis tanaman, keadaan lingkungan luar, dan cara pemeliharaan tanaman. Pada umumnya, pada fase ini terjadi laju pertumbuhan yang sangat cepat (*exponential*). Fase muda merupakan fase yang peka terhadap persaingan dengan kondisi di sekitarnya baik antar tanaman maupun dengan tumbuhan lainnya. Pertumbuhan sangat cepat secara eksponensial bertujuan untuk memenangkan persaingan dan menunjang perkembangan tanaman berikutnya. Pertumbuhan fase vegetatif yang baik akan berpengaruh baik pula

terhadap produksi tanaman. Jika pada fase muda ini tidak bisa tumbuh dengan baik, maka akan dihasilkan produksi tanaman yang rendah terutama terjadi pada tanaman semusim.

Gambaran atau ilustrasi fase muda pertumbuhan tanaman dikotil (jagung) dari perkecambahan biji hingga membentuk tunas dengan daunnya dapat dilihat pada Gambar 1.4.



Gambar 1.4. Perkecambahan Biji dan Pertumbuhan Tanaman Jagung
Sumber: (Anonim, 2022c)

1.3.3. Fase dewasa (maturity atau reproduktif atau generatif)

Fase dewasa dari tanaman dapat ditunjukkan oleh adanya tanda-tanda transisi secara bertahap, yaitu: pada morfologi, laju pertumbuhan, dan kemampuan pembungaan tanaman. Disamping itu, dimulai terjadinya pembentukan bagian-bagian bunga dan dihentikannya pembentukan organ-organ vegetatif tanaman.

Gambar 1.5 merupakan fase dewasa yang ditunjukkan adanya pembungaan dan pembesaran tongkol jagung. Terjadi penghambatan (penghentian) organ-organ vegetatif karena asimilat (senyawa organik metabolik) terutama ditunjukkan bagi perkembangan organ-organ reproduksi (buah). Dalam hal ini baik tunas vegetatif maupun perakaran akan terhambat pertumbuhannya.



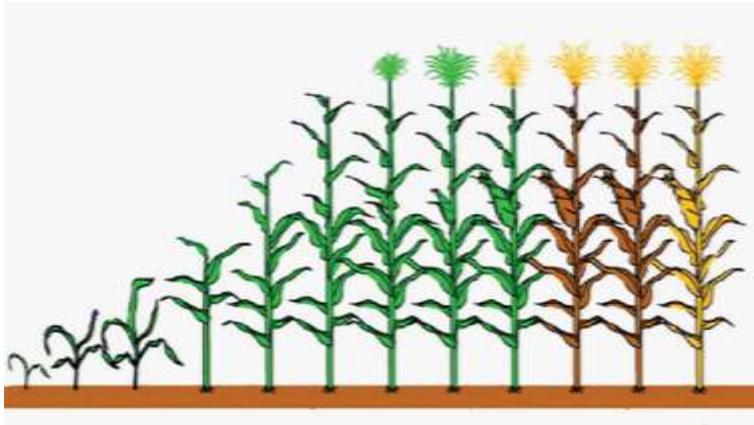
Gambar 1.5. Morfologi Tanaman Jagung pada Saat Pengisian Tongkol
Sumber: (Anonim, 2022b)

1.3.4. Fase penuaan dan aging (*senile* atau *senescence*)

Pada fase penuaan ini terjadi perombakan secara alamiah dari bagian atau keseluruhan tubuh tanaman sehingga kegiatan fungsionalnya hilang. Selama proses penuaan berlangsung, akan terjadi penurunan aktivitas dan fungsi organ-organ yang berperan dalam proses penyusunan senyawa organik metabolik.

Bahan-bahan yang mengalami penurunan fungsi (*deterioration*) adalah klorofil, protein, RNA, lemak, fotosintesis, respirasi, dinding sel, serta organel. Karakteristik utama yang tampak pada proses penuaan daun adalah perubahan warna daun atau berkurangnya klorofil daun (daun menguning). Berkurangnya kandungan protein selama proses penuaan dapat diamati dengan adanya akumulasi asam amino. Asam amino ditranslokasikan dari daun lebih tua menuju ke daerah atau bagian yang aktif tumbuh dan berkembang. Menurunnya kandungan protein pada daun tua seiring dengan menurunnya kandungan RNA yang berhubungan dengan menurunnya kapasitas sintesis RNA.

Selama proses penuaan berlangsung, terjadi penurunan produksi adenosin trifosfat (ATP), akibatnya transport elektron dan fotofosforilasi oksidatif berjalan lambat, sehingga penyediaan ATP yang mendukung terjadinya sintesis di dalam sel tidak cukup. Selama proses penuaan tanaman akan terjadi penurunan aktivitas respirasi secara bertahap. *Senescence* dapat terjadi pada bagian atau keseluruhan dari tanaman.



Gambar 1.6. Fase Penuaan dan Aging
Sumber: (Anonim, 2022a)

Faktor luar yang dapat menghambat atau mempercepat terjadinya penuaan, yaitu: a. Kenaikan suhu, keadaan gelap, dan kekurangan air dapat mempercepat terjadinya penuaan daun, b. Penghapusan bunga atau buah akan menghambat penuaan tanaman, dan c. Pengurangan unsur hara di dalam tanah dapat menekan pertumbuhan tanaman yang berarti mempercepat penuaan.

Bentuk penuaan pada tanaman dapat mengikuti beberapa pola berikut ini:

- Penuaan yang terjadi keseluruhan dari tubuh tanaman (*overall senescence*). Akar (*root*) dan bagian tanaman bagian di atas tanah (*shoot*) mati semua. Tanaman mati setelah menyelesaikan satu siklus hidupnya.
- Penuaan yang hanya terjadi pada bagian tanaman di atas tanah saja (*top senescence*). Bagian tanaman yang berada di atas tanah (*shoot*) mati, sedangkan bagian tanaman yang berada di dalam tanah (*root*) tetap hidup.
- Penuaan yang hanya terjadi pada daun-daun saja (*deciduous senescence*). Tanaman menggugurkan semua daun-daunnya, sementara organ tanaman lainnya tetap hidup.

- d. Penuaan yang hanya terjadi pada daun-daun yang terdapat di bagian bawah saja (daun-daun yang sudah tua), sedangkan daun-daun yang terletak di bagian atas dan organ yang lain tetap hidup.

Teori-teori *senescence*:

- a. Tanaman mati karena kekurangan makanan
Kegiatan reproduksi tanaman (pada waktu pembentukan dan perkembangan buah) akan mengangkut zat-zat makanan dari bagian tanaman yang lain, sehingga menyebabkan terjadinya *senescence*.
- b. Kemunduran integritas bagian tanaman
Proses penuaan menyebabkan penurunan kemampuan organ untuk mempertahankan zat-zat yang terkandung di dalamnya dan juga penurunan fungsi setiap organ.
- c. Keracunan
Penuaan terjadi akibat dari adanya keracunan.

Manfaat Penuaan:

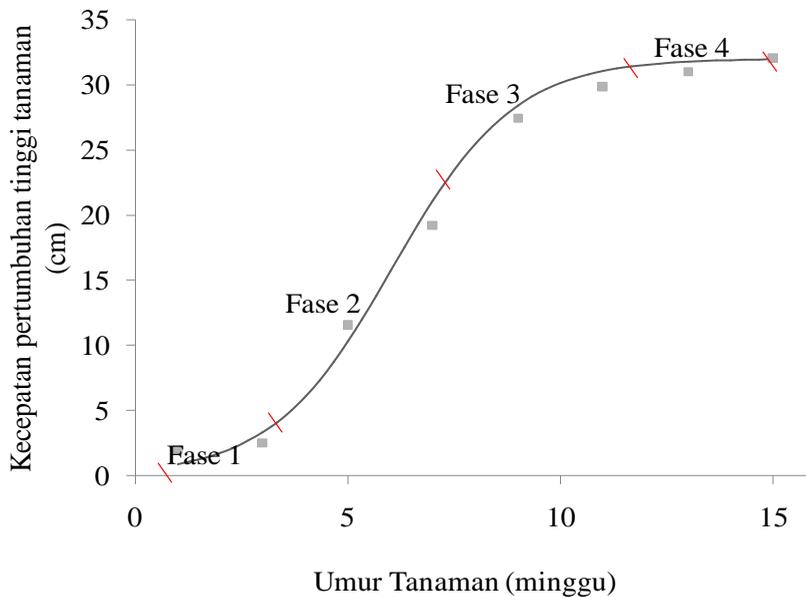
- a. Memobilisasi zat-zat di dalam tubuh tanaman,
- b. Penuaan daun yang tua (daun tua gugur),
- c. Alat adaptasi pada beberapa tanaman. Penuaan bagian tanaman dimaksudkan untuk menghindari kemungkinan buruk dari kondisi lingkungan.

BAB 2

KURVE PERTUMBUHAN TANAMAN

2.1. Pendahuluan

Kurva pertumbuhan tanaman secara umum akan membentuk huruf S (kurva sigmoid) yang terbagi dalam beberapa tahapan pertumbuhan. Untuk tanaman semusim lebih mudah diamati pertumbuhannya dibandingkan tanaman tahunan karena siklus hidupnya lebih pendek. Fase-fase pertumbuhan tanaman dapat ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Fase-fase Pertumbuhan Tinggi Tanaman (cm)

Namun, fase pertumbuhan tanaman (Gambar 2.1) secara umum dapat dibagi atas empat fase, yaitu:

- a. Fase 1. *Steady fase*
Fase persiapan pertumbuhan yaitu pertumbuhan tanaman yang masih tampak lambat atau diam.
- b. Fase 2. *logarithmic fase*
Fase yang pertumbuhan tanaman sangat cepat bersifat linier naik.
- c. Fase 3. *Decreasing growth rate fase*
Fase pertumbuhan yang cenderung semakin berkurang.
- d. Fase 4. Fase pertumbuhan tanaman terhenti
Fase dimana tanaman tidak mengalami pertumbuhan dan akhirnya mati (pada akhir siklus hidupnya).

Selama ini, untuk menduga pertumbuhan tanaman selalu menggunakan pendekatan dengan persamaan umum regresi sigmoid, namun tidak semuanya demikian. Jenis tanaman tahunan, pertumbuhannya mengikuti kurve logistik.

2.2. Kurve Logistik

Hasil penelitian pengaruh jarak tanam terhadap pertumbuhan diameter batang cabai (tanaman semusim) diamati dengan interval 21 hari dari umur 0–105 hari setelah tanam (HST) ditunjukkan pada Tabel 2.1. Gambar 2.2 diperoleh dengan tahapan perhitungan sebagai berikut.

Tabel 2.1. Diameter Batang Cabai TM 888 (cm) pada Berbagai Umur Tanaman (HST) dengan Perlakuan Jarak Tanam

| Umur Tanaman (hari) | Perlakuan Jarak Tanam (cm) | | |
|------------------------|----------------------------|---------|---------|
| | 50 × 30 | 50 × 50 | 50 × 70 |
| 0 | 1 | 1 | 1 |
| 21 | 5 | 6 | 6 |
| 42 | 17 | 20 | 23 |
| 63 | 27 | 30 | 35 |
| 84 | 29 | 34 | 37 |
| 105 | 30 | 35 | 38 |

Umur 0 hari artinya tinggi bibit cabai saat tanam. Untuk mengetahui hubungan antara umur tanaman dan pertumbuhan diameter batang pada tiga macam perlakuan jarak tanam dilakukan pendugaan melalui pendekatan analisis regresi logistik. Persamaan umum regresi logistik, yaitu:

$$Y' = \frac{1}{e^{a + bX} + \frac{1}{a'}}$$

Keterangan:

- Y' = Tinggi tanaman yang diduga
- e = Bilangan eksponensial (2,71828)
- a = Konstanta
- b = Koefisien regresi
- a' = Nilai yang mendekati nilai maksimum dari pengamatan

Langkah-langkah untuk analisis regresi logistik pada masing-masing perlakuan jarak tanam dilakukan dengan cara: persamaan regresi logistik diliniierkan menjadi regresi linier sederhana, yaitu: $Y = a + bX$.

A. Jarak tanam 50 × 30 cm

1. Menentukan nilai a' yaitu nilai yang mendekati maksimum dari diameter batang pada jarak tanam 50 × 30 cm (dianggap sebagai y) yaitu 30 mm pada umur 105 HST. Syarat angka terbesar ditambah angka 0,01 sehingga menjadi 30,01 mm.

Maka nilai $\frac{1}{a'} = \frac{1}{30,01} = 0,0333$

2. Selanjutnya mengubah nilai diameter batang (y) menjadi nilai $\frac{1}{y}$, dan selanjutnya nilai $\frac{1}{y}$ dikurangi nilai $\frac{1}{a'}$ menjadi $(\frac{1}{y} - \frac{1}{a'})$ dan selanjutnya diubah ke dalam $\ln(\frac{1}{y} - \frac{1}{a'})$ dan dianggap sebagai sebagai Y seperti pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Diameter Batang (mm) Diubah ke Angka Logaritma Natural (ln) pada Jarak Tanam 50 × 30 cm

| No | Umur Tanaman (X) | Diameter Batang (y) | $\frac{1}{y}$ | $\frac{1}{y} - \frac{1}{a'}$ | $\ln(\frac{1}{y} - \frac{1}{a'}) = Y$ |
|----|------------------------|------------------------|---------------|------------------------------|---------------------------------------|
| 1 | 0 | 1 | 1 | 0,96668 | -0,0339 |
| 2 | 21 | 5 | 0.16667 | 0,16668 | -1,7917 |
| 3 | 42 | 17 | 0.04348 | 0,02550 | -3,6690 |
| 4 | 63 | 27 | 0.02857 | 0,00371 | -5,5954 |
| 5 | 84 | 29 | 0.02703 | 0,00116 | -6,7589 |
| 6 | 105 | 30 | 0.02632 | 1,1E-05 | -11,408 |

Selanjutnya dapat dilakukan perhitungan perkalian dan pengkuadratan seperti pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Umur Tanaman (X) dan Diameter Batang (Y) pada Jarak Tanam 50 × 30 cm

| No | X | Y | X ² | XY | Y ² |
|--------|-----|---------|----------------|----------|----------------|
| 1 | 0 | -0,0339 | 0 | 0 | 0,001149 |
| 2 | 21 | -1,7917 | 441 | -37,6255 | 3,210163 |
| 3 | 42 | -3,6690 | 1764 | -154,099 | 13,46175 |
| 4 | 63 | -5,5954 | 3969 | -352,512 | 31,30881 |
| 5 | 84 | -6,7589 | 7056 | -567,746 | 45,68241 |
| 6 | 105 | -11,408 | 11025 | -1197,83 | 130,1401 |
| Jumlah | 315 | -29,257 | 24255 | -2309,81 | 223,8044 |

Berdasarkan Tabel 2.3 diketahui nilai: $\Sigma X = 315$; $\Sigma Y = -29,257$; $\Sigma X^2 = 24255$; $\Sigma XY = -2309,81$; dan $\Sigma Y^2 = 223,8044$ disubstitusikan pada Tabel 2.4.

Perhitungan konstanta (a atau b₀) dan koefisien regresi (b₁) dapat digunakan bantuan metode Abreviate Doollittle seperti pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4. Metode Abreviate Doollittle pada Jarak Tanam 50 × 30 cm

| Baris | Kolom I | | Kolom II | Kolom III | |
|-------|----------------|----------------|----------------|-----------------------|-----------------|
| | b ₀ | b ₁ | X'Y | Matriks Identitas (I) | |
| | Σn | ΣX_1 | ΣY | C ₀₀ | C ₀₁ |
| | | ΣX_1^2 | $\Sigma X_1 Y$ | C ₀₁ | C ₁₁ |
| 1 | 6 | 315 | -29,257 | 1 | 0 |
| 2 | | 24255 | -2309,8 | 0 | 1 |
| 4 | 6 | 315 | -29,257 | 1 | 0 |
| 5 | 1 | 52,5 | -4,8761 | 0,16667 | 0 |
| 6 | | 7717,5 | -773,83 | -52,5 | 1 |
| 7 | | 1 | -0,1003 | -0,0068 | 0,00013 |

Baris 1, 2 dan 3 diperoleh dari perhitungan data pengamatan

Data pada baris 3 diambil dari baris 1

Baris 5 diperoleh dari masing-masing baris 4 dibagi angka paling depan pada baris 4

$$\begin{aligned}
 1 &= 6 & : & 6 \\
 52,5 &= 315 & : & 6 \\
 -4,8761 &= -29,257 & : & 6
 \end{aligned}$$

$$\begin{array}{rcl} 0,16667 & = & 1 : 6 \\ 0 & = & 0 : 6 \end{array}$$

Baris 6 diperoleh dari masing-masing baris 2 - (baris 4 × baris 5)

$$\begin{array}{rcl} 7717,5 & = & 24255 - (315 \times 52,5) \\ -773,83 & = & -2309,8 - (315 \times -4,8761) \\ -52,5 & = & 0 - (315 \times 0,16667) \\ 1 & = & 1 - (315 \times 0) \end{array}$$

Baris 7 diperoleh dari masing-masing baris 6 dibagi angka paling depan pada baris 6

$$\begin{array}{rcl} 1 & = & 7717,5 : 7717,5 \\ -0,1003 & = & -773,83 : 7717,5 \\ -0,0068 & = & -52,5 : 7717,5 \\ 0,00013 & = & 1 : 7717,5 \end{array}$$

Menghitung koefisien regresi (b_2) yang diambil dari baris 9:

$$\begin{array}{rcl} 1 \times b_1 & = & -0,1003 \\ b_1 & = & -0,1003 \end{array}$$

Menghitung koefisien regresi (b_1) yang diperoleh dari baris 7:

$$\begin{array}{rcl} (1 \times b_0) + (52,5 \times b_1) & = & -4,8761 \\ b_0 + (52,5 \times -0,1003) & = & -4,8761 \\ b_0 & = & -4,8761 - -5,2641 \\ b_0 & = & 0,38801 \end{array}$$

Berdasarkan perhitungan di atas, maka diperoleh nilai a atau $b_0 = 0,38801$, dan $b_1 = -0,1003$, sehingga diperoleh persamaan regresi logistik pada jarak tanam 50×30 cm, yaitu:

$$Y' = \frac{1}{2,71828^{0,38801 - 0,1003 X} + \frac{1}{30,01}}$$

Perhitungan Jumlah Kuadrat diperoleh dari kolom II

Jumlah kuadrat konstanta ($JK b_0$) = faktor koreksi (FK):

$JK b_0 = \text{baris } 4 \times \text{baris } 5$ (pada Kolom II)

$$= -29,257 \times -4,8761$$

$$= 142,66$$

Jumlah kuadrat koefisien regresi b_1 (JK b_1):

$$\text{JK } b_1 = \text{baris 6} \times \text{baris 7 (pada Kolom II)}$$

$$= -773,83 \times -0,1003$$

$$= 77,5913$$

Jumlah kuadrat total (JKT):

$$\text{JK T} = \sum Y^2 - \text{JK } b_0$$

$$= 223,804 - 142,66$$

$$= 81,1443$$

Koefisien determinasi (penentu) dengan simbol r^2 dihitung sebagai berikut:

$$r^2 = \frac{\text{JK R}}{\text{JK T}} = \frac{77,5913}{81,1443} = 0,9562 \text{ atau } 95,62\%$$

Nilai $r^2 = 95,62\%$ artinya bahwa perubahan nilai Y dipengaruhi oleh nilai X sebesar 95,62% dan sisanya dipengaruhi oleh variabel lain.

A. Jarak tanam 50 × 50 cm

Langkah perhitungan:

1. Menentukan nilai a' yaitu nilai yang mendekati maksimum dari diameter batang pada jarak tanam 50 × 30 cm (dianggap sebagai y) yaitu 35 cm pada umur 105 HST. Syarat angka terbesar ditambah angka 0,01 sehingga menjadi 35,01 cm.

$$\text{Maka nilai } \frac{1}{a'} = \frac{1}{35,01} = 0,0286$$

2. Selanjutnya mengubah nilai diameter batang (y) menjadi nilai $\frac{1}{y}$, dan selanjutnya nilai $\frac{1}{y}$ dikurangi nilai $\frac{1}{a'}$ menjadi $(\frac{1}{y} - \frac{1}{a'})$ dan selanjutnya diubah ke dalam $\ln(\frac{1}{y} - \frac{1}{a'})$ dan dianggap sebagai sebagai Y seperti Tabel 2.5.

Tabel 2.5. Diameter Batang (mm) Diubah ke Angka Logaritma Natural (Ln) pada Jarak Tanam 50 × 50 cm

| No | Umur (X) | Diameter Batang (y) | $\frac{1}{y}$ | $\frac{1}{y} - \frac{1}{a'}$ | $\text{Ln} \left(\frac{1}{y} - \frac{1}{a'} \right)$ |
|----|----------|---------------------|---------------|------------------------------|---|
| 1 | 0 | 1 | 1 | 0,97144 | -0,0290 |
| 2 | 21 | 6 | 0,1667 | 0,13810 | -1,9798 |
| 3 | 42 | 20 | 0,0500 | 0,02144 | -3,8426 |
| 4 | 63 | 30 | 0,0333 | 0,00477 | -5,3454 |
| 5 | 84 | 34 | 0,0294 | 0,00085 | -7,0720 |
| 6 | 105 | 35 | 0,0286 | 8,2E-06 | -11,716 |

Selanjutnya dapat dilakukan perhitungan perkalian dan pengkuadratan seperti pada Tabel 2.6.

Tabel 2.6. Umur Tanaman (X) dan Diameter Batang (Y) pada Jarak Tanam 50 × 50 cm

| No | Umur (X) | $\text{Ln} \left(\frac{1}{y} - \frac{1}{a'} \right) = (Y)$ | X^2 | XY | Y^2 |
|--------|----------|---|-------|-----------|---------|
| 1 | 0 | -0,0290 | 0 | 0 | 0,00084 |
| 2 | 21 | -1,9798 | 441 | -41,5748 | 3,91942 |
| 3 | 42 | -3,8426 | 1764 | -161,3913 | 14,7660 |
| 4 | 63 | -5,3454 | 3969 | -336,7599 | 28,5732 |
| 5 | 84 | -7,0720 | 7056 | -594,0517 | 50,0138 |
| 6 | 105 | -11,716 | 11025 | -1230,196 | 137,268 |
| Jumlah | 315 | -29,985 | 24255 | -2363,974 | 234,541 |

Berdasarkan Tabel 2.6 diketahui nilai: $\Sigma X = 315$; $\Sigma Y = -29.985$; $\Sigma X^2 = 24255$; $\Sigma XY = -2363,974$; dan $\Sigma Y^2 = 234,541$, selanjutnya disubstitusikan pada Tabel 2,7.

Konstanta (a) dan koefisien regresi (b_1) dapat dihitung dengan menggunakan bantuan metode Abreviate Doollittle seperti pada Tabel 2.7.

Tabel 2.7. Metode Abreviate Doollittle pada Jarak Tanam 50 × 50 cm

| Baris | Kolom I | | Kolom II | Kolom III | |
|------------|--------------|----------------|----------------|-----------------------|----------|
| | b_0 | b_1 | X'Y | Matriks Identitas (I) | |
| Σn | ΣX_1 | ΣX_1^2 | ΣY | C_{00} | C_{01} |
| | | | $\Sigma X_1 Y$ | C_{01} | C_{11} |

| | | | | | |
|---|---|--------|----------|---------|---------|
| 1 | 6 | 315 | -29,985 | 1 | 0 |
| 2 | | 24255 | -2363,97 | 0 | 1 |
| 4 | 6 | 315 | -29,985 | 1 | 0 |
| 5 | 1 | 52,5 | -4,9975 | 0,16667 | 0 |
| 6 | | 7717,5 | -789,763 | -52,5 | 1 |
| 7 | | 1 | -0,10233 | -0,0068 | 0,00013 |

Baris 1, 2 dan 3 diperoleh dari perhitungan data pengamatan

Data pada baris 3 diambil dari baris 1

Baris 5 diperoleh dari masing-masing baris 4 dibagi angka paling depan pada baris 4

$$\begin{aligned}
 1 &= 6 : 6 \\
 52,5 &= 315 : 6 \\
 -4,9975 &= -29,985 : 6 \\
 0,16667 &= 1 : 6 \\
 0 &= 0 : 6
 \end{aligned}$$

Baris 6 diperoleh dari masing-masing baris 2 - (baris 4 x baris 5)

$$\begin{aligned}
 7717,5 &= 24255 - (315 \times 52,5) \\
 -789,76 &= -2364 - (315 \times -5) \\
 -52,5 &= 0 - (315 \times 0,167) \\
 1 &= 1 - (315 \times 0)
 \end{aligned}$$

Baris 7 diperoleh dari masing-masing baris 6 dibagi angka paling depan pada baris 6

$$\begin{aligned}
 1 &= 7717,5 : 7717,5 \\
 -0,1023 &= -789,76 : 7717,5 \\
 -0,0068 &= -52,5 : 7717,5 \\
 0,00013 &= 1 : 7717,5
 \end{aligned}$$

Menghitung koefisien regresi (b_2) diambil dari baris 9:

$$\begin{aligned}
 1 \times b_1 &= -0,10233 \\
 b_1 &= -0,10233
 \end{aligned}$$

Menghitung koefisien regresi (b_1) diperoleh dari baris 7:

$$\begin{aligned}
 (1 \times b_0) + (52,5 \times b_1) &= -4,9975 \\
 b_0 + (52,5 \times -0,1) &= -4,9975
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b_0 &= -4,9975 - 5,37 \\ b_0 &= 0,37504 \end{aligned}$$

Atas dasar perhitungan di atas diperoleh nilai a atau $b_0 = 0,38801$ dan b_1 sebesar $-0,1003$, sehingga diperoleh persamaan regresi logistik pada jarak tanam 50×50 cm:

$$Y' = \frac{1}{2,71828^{0,37504 - 0,10233 X} + \frac{1}{35,01}}$$

Perhitungan Jumlah Kuadrat diperoleh dari kolom II

Jumlah kuadrat konstanta (JK b_0) = faktor koreksi (FK):

$$\begin{aligned} \text{JK } b_0 &= \text{baris 4} \times \text{baris 5 (pada kolom II)} \\ &= -29,985 \times -4,9975 \\ &= 149,85 \end{aligned}$$

Jumlah kuadrat koefisien regresi b_1 (JK b_1):

$$\begin{aligned} \text{JK } b_1 &= \text{baris 6} \times \text{baris 7 (pada Kolom II)} \\ &= -789,76 \times -0,1023 \\ &= 80,8196 \end{aligned}$$

Jumlah kuadrat total (JKT):

$$\begin{aligned} \text{JK T} &= \sum Y^2 - \text{JK } b_0 \\ &= 234,541 - 149,85 \\ &= 84,6917 \end{aligned}$$

Koefisien determinasi (penentu) dengan simbol r^2 dihitung sebagai berikut:

$$r^2 = \frac{\text{JK R}}{\text{JK T}} = \frac{80,8196}{84,6917} = 0,9543 \text{ atau } 95,43\%$$

Nilai $r^2 = 95,43\%$ artinya bahwa perubahan nilai Y dipengaruhi oleh nilai X sebesar 95,43% dan sisanya dipengaruhi oleh variabel lain.

A. Jarak tanam 50×70 cm

Langkah-langkah:

1. Menentukan nilai a' yaitu nilai yang mendekati maksimum dari diameter batang pada jarak tanam 50×30 cm (anggap sebagai y) yaitu 38 cm pada umur 105 HST, syarat angka terbesar ditambah angka 0,01 sehingga menjadi 38,01 cm. Maka nilai

$$\frac{1}{a'} = \frac{1}{35,01} = 0,0263$$

2. Selanjutnya mengubah nilai diameter batang (y) menjadi nilai $\frac{1}{y}$ dan selanjutnya nilai $\frac{1}{y}$ dikurangi nilai $\frac{1}{a'}$ menjadi $(\frac{1}{y} - \frac{1}{a'})$ dan selanjutnya diubah ke dalam $\ln(\frac{1}{y} - \frac{1}{a'})$ dan dianggap sebagai sebagai Y seperti ditunjukkan pada Tabel 2.8.

Tabel 2.8. Diameter Batang (mm) Diubah ke Angka Logaritma Natural (ln) pada Jarak Tanam 50×70 cm

| No | Umur (X) | Diameter Batang (y) | $\frac{1}{y}$ | $\frac{1}{y} - \frac{1}{a'}$ | $\ln(\frac{1}{y} - \frac{1}{a'})$ |
|----|----------|---------------------|---------------|------------------------------|-----------------------------------|
| 1 | 0 | 1 | 1 | 0,973691 | -0,02666 |
| 2 | 21 | 6 | 0,16667 | 0,140357 | -1,96356 |
| 3 | 42 | 23 | 0,04348 | 0,017169 | -4,06463 |
| 4 | 63 | 35 | 0,02857 | 0,002262 | -6,09126 |
| 5 | 84 | 37 | 0,02703 | 0,000718 | -7,23882 |
| 6 | 105 | 38 | 0,02632 | 6,92E-06 | -11,8806 |

Selanjutnya dapat dilakukan perhitungan perkalian dan pengkuadratan seperti pada Tabel 2.9.

Tabel 2.9. Umur Tanaman (X) dan Diameter Batang (Y) pada Jarak Tanam 50×70 cm

| No | Umur (X) | $\ln(\frac{1}{y} - \frac{1}{a'}) = (Y)$ | X^2 | XY | Y^2 |
|--------|----------|---|-------|-----------|----------|
| 1 | 0 | -0,02666 | 0 | 0 | 0,000711 |
| 2 | 21 | -1,96356 | 441 | -41,23477 | 3,855569 |
| 3 | 42 | -4,06463 | 1764 | -170,7143 | 16,52119 |
| 4 | 63 | -6,09126 | 3969 | -383,7492 | 37,10342 |
| 5 | 84 | -7,23882 | 7056 | -608,0606 | 52,40047 |
| 6 | 105 | -11,8806 | 11025 | -1247,464 | 141,1488 |
| Jumlah | 315 | -31,2655 | 24255 | -2451,223 | 251,0301 |

Berdasarkan Tabel 2.9 diketahui nilai: $\Sigma X = 315$; $\Sigma Y = -31,2655$; $\Sigma X^2 = 24255$; $\Sigma XY = -2451,223$; dan $\Sigma Y^2 = 251,0301$ dan disubstitusikan pada Tabel 2.10.

Perhitungan konstanta (a) dan koefisien regresi (b_1) dapat digunakan bantuan metode Abreviate Doollittle seperti pada Tabel 2.10.

Tabel 2.10. Metode Abreviate Doollitle pada Jarak Tanam 50 × 70 cm

| Baris | Kolom I | | Kolom II | Kolom III | |
|-------|----------|----------------|-------------|-----------------------|----------|
| | b_0 | $X'X$ b_1 | $X'Y$ | Matriks Identitas (I) | |
| | $\sum n$ | $\sum X_1$ | $\sum Y$ | C_{00} | C_{01} |
| | | $\sum X_1^2$ | $\sum X_1Y$ | C_{01} | C_{11} |
| 1 | 6 | 315 | -31,266 | 1 | 0 |
| 2 | | 24255 | -2451,2 | 0 | 1 |
| 4 | 6 | 315 | -31,266 | 1 | 0 |
| 5 | 1 | 52,5 | -5,2109 | 0,16667 | 0 |
| 6 | | 7717,5 | -809,78 | -52,5 | 1 |
| 7 | | 1 | -0,1049 | -0,0068 | 0,00013 |

Baris 1, 2 dan 3 diperoleh dari perhitungan data pengamatan

Data baris 3 diambil dari baris 1

Baris 5 diperoleh dari masing-masing baris 4 dibagi angka paling depan pada baris 4

$$1 = 6 : 6$$

$$52,5 = 315 : 6$$

$$-5,2109 = -31,266 : 6$$

$$0,16667 = 1 : 6$$

$$0 = 0 : 6$$

Baris 6 diperoleh dari masing-masing baris 2 - (baris 4 × baris 5)

$$7717,5 = 24255 - (315 \times 52,5)$$

$$-809,78 = -2451,2 - (315 \times -5,2109)$$

$$-52,5 = 0 - (315 \times 0,16667)$$

$$1 = 1 - (315 \times 0)$$

Baris 7 diperoleh dari masing-masing baris 6 dibagi angka paling depan baris 6

$$1 = 7717,5 : 7717,5$$

$$-0,1049 = -809,78 : 7717,5$$

$$-0,0068 = -52,5 : 7717,5$$

$$0,00013 = 1 : 7717,5$$

Menghitung koefisien regresi (b_2) diambil dari baris 9:

$$\begin{aligned} 1 \times b_1 &= -0,10493 \\ b_1 &= -0,10493 \end{aligned}$$

Menghitung koefisien regresi (b_1) diperoleh dari baris 7:

$$\begin{aligned} (1 \times b_0) + (52,5 \times b_1) &= -5,2109 \\ b_0 + (52,5 \times -0,1049) &= -5,2109 \\ b_0 &= -5,21092 - 5,5087 \\ b_0 &= 0,297802 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas diperoleh nilai $b_0 = 0,297802$ dan $b_1 = -0,10493$, sehingga diperoleh persamaan regresi logistik pada jarak tanam 50×70 cm:

$$Y' = \frac{1}{2,71828^{0,297802 - 0,10493 X} + \frac{1}{38,01}}$$

Perhitungan Jumlah Kuadrat diperoleh dari kolom II

Jumlah kuadrat konstanta ($JK b_0$) = faktor koreksi (FK):

$$\begin{aligned} JK b_0 &= \text{baris 4} \times \text{baris 5 (pada kolom II)} \\ &= -31,266 \times -5,2109 \\ &= 162,922 \end{aligned}$$

Jumlah kuadrat koefisien regresi b_1 ($JK b_1$):

$$\begin{aligned} JK b_1 &= \text{baris 6} \times \text{baris 7 (pada Kolom II)} \\ &= -809,78 \times -0,1049 \\ &= 84,9689 \end{aligned}$$

Jumlah kuadrat total (JKT):

$$\begin{aligned} JK T &= \sum Y^2 - JK b_0 \\ &= 251,03 - 162,9222 \\ &= 88,1079 \end{aligned}$$

Koefisien determinasi (penentu) dengan simbol r^2 dihitung sebagai berikut:

$$r^2 = \frac{JK R}{JK T} = \frac{84,9689}{88,1079} = 0,9644 \text{ atau } 96,44\%$$

Nilai $r^2 = 96,44\%$ artinya bahwa perubahan nilai variabel Y dipengaruhi oleh variabel X sebesar 95,43% dan sisanya dipengaruhi oleh variabel lain.

Hasil analisis regresi logistik pada tiga jarak tanam diperoleh persamaan sebagai berikut:

1. Pada jarak tanam 50 × 50 cm

$$Y' = \frac{1}{2,71828^{0,38801} - 0,1003 X + \frac{1}{30,01}} \text{ dan } r^2 = 95,62\% \dots\dots\dots (1)$$

2. Pada jarak tanam 50 × 50 cm

$$Y' = \frac{1}{2,71828^{0,37504} - 0,1023 X + \frac{1}{35,01}} \text{ dan } r^2 = 95,43\% \dots\dots\dots (2)$$

3. Pada jarak tanam 50 × 70 cm

$$Y' = \frac{1}{2,71828^{0,297802} - 0,1049 X + \frac{1}{38,01}} \text{ dan } r^2 = 96,44\% \dots\dots\dots (3)$$

Cara untuk membuat kurva regresi logistik hubungan antara umur tanaman (X) dan diameter bayang (Y) pada tiga jarak tanam, dengan memasukan nilai X dari angka 0 hingga 105 (interval angka 3) ke persamaan logistik 1, 2, dan 3 di atas, maka akan diperoleh nilai Y' (*Y predicted*) pada masing-masing jarak tanam.

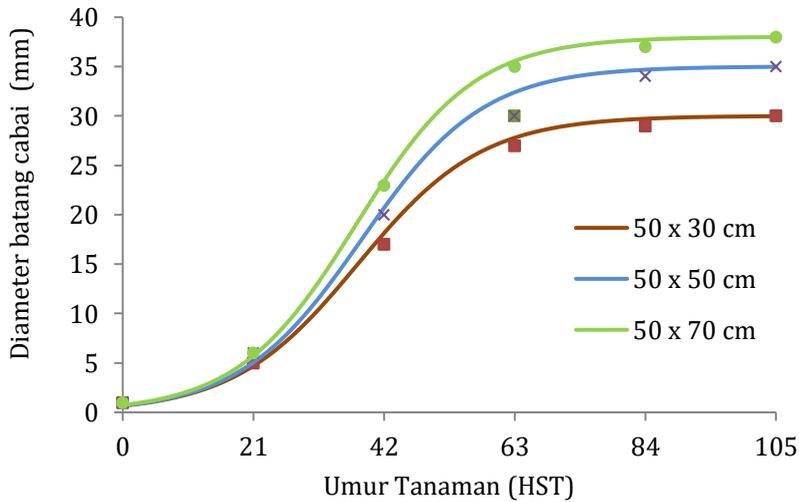
Untuk lebih jelasnya langkah-langkah untuk mendapatkan nilai Y', maka dilakukan langkah-langkah perhitungan seperti pada Tabel 2.11.

Tabel 2.11. Umur Tanaman, Nilai Y' (*Predicted*) dan Nilai Y (*Observed*) pada Jarak Tanam 50 × 30, 50 × 50, dan 50 × 70 cm

| Umur Tanaman (X) | Jarak 50 × 30 cm | | Jarak 50 × 50 cm | | Jarak 50 × 70 cm | |
|------------------------|------------------------------|----------------------------|------------------------------|----------------------------|------------------------------|----------------------------|
| | Nilai Y' <i>Estimated</i> | Nilai Y <i>Observed</i> | Nilai Y' <i>Estimated</i> | Nilai Y <i>Observed</i> | Nilai Y' <i>Estimated</i> | Nilai Y <i>Observed</i> |
| 0 | 0,6634 | 1 | 0,67403 | 1 | 0,72822 | 1 |
| 3 | 0,8893 | | 0,90994 | | 0,99062 | |
| 6 | 1,1891 | | 1,22548 | | 1,34415 | |
| 9 | 1,5844 | | 1,64516 | | 1,81766 | |
| 12 | 2,1015 | | 2,1992 | | 2,44684 | |
| 15 | 2,7709 | | 2,92348 | | 3,2741 | |
| 18 | 3,6258 | | 3,85824 | | 4,34688 | |
| 21 | 4,6990 | 5 | 5,04489 | 6 | 5,71333 | 6 |
| 24 | 6,0175 | | 6,52012 | | 7,41473 | |
| 27 | 7,5949 | | 8,30714 | | 9,47416 | |

| | | | | | | |
|-----|--------|----|---------|----|---------|----|
| 30 | 9,4233 | | 10,4051 | | 11,8834 | |
| 33 | 11,467 | | 12,7793 | | 14,5921 | |
| 36 | 13,659 | | 15,3571 | | 17,5044 | |
| 39 | 15,911 | | 18,0331 | | 20,4895 | |
| 42 | 18,123 | 17 | 20,6846 | 20 | 23,4027 | 23 |
| 45 | 20,202 | | 23,1934 | | 26,1127 | |
| 48 | 22,076 | | 25,4655 | | 28,5238 | |
| 51 | 23,704 | | 27,4433 | | 30,5851 | |
| 54 | 25,073 | | 29,1062 | | 32,2884 | |
| 57 | 26,192 | | 30,4643 | | 33,6566 | |
| 60 | 27,087 | | 31,5471 | | 34,7308 | |
| 63 | 27,791 | 27 | 32,3941 | 30 | 35,5593 | 35 |
| 66 | 28,335 | | 33,0468 | | 36,1894 | |
| 69 | 28,752 | | 33,5441 | | 36,6636 | |
| 72 | 29,068 | | 33,9195 | | 37,0177 | |
| 75 | 29,307 | | 34,2011 | | 37,2806 | |
| 78 | 29,487 | | 34,4113 | | 37,4748 | |
| 81 | 29,621 | | 34,5676 | | 37,6178 | |
| 84 | 29,721 | 29 | 34,6834 | 34 | 37,7229 | 37 |
| 87 | 29,796 | | 34,7692 | | 37,8 | |
| 90 | 29,851 | | 34,8325 | | 37,8565 | |
| 93 | 29,892 | | 34,8793 | | 37,8978 | |
| 96 | 29,923 | | 34,9137 | | 37,9281 | |
| 99 | 29,945 | | 34,9391 | | 37,9502 | |
| 102 | 29,962 | | 34,9578 | | 37,9663 | |
| 105 | 29,975 | 30 | 34,9716 | 35 | 37,9781 | 38 |

Berdasarkan Tabel 2.11 di atas, maka dapat dibuat kurva pertumbuhan diameter batang tanaman pada ketiga jarak tanam pada umur 21, 42, 63, 84, dan 105 HST seperti pada Gambar 2.2 berikut.



Gambar 2.2. Hubungan Umur Tanaman (HST) dan Diameter Batang Cabai (mm) pada Berbagai Jarak Tanam

2.3. Kurva Sigmoid

Penelitian pengaruh macam pupuk kandang terhadap pertumbuhan tinggi tanaman kacang tanah varietas Kelinci dengan interval waktu pengamatan 14 hari dari umur 0–70 hari setelah tanam (HST) ditunjukkan pada Tabel 2.12.

Tabel 2.12. Tinggi tanaman Kacang Tanah (cm) pada Berbagai Umur dengan Perlakuan Jenis Pupuk Kandang

| Umur Tanaman (hari) | Macam Pupuk Kandang | | |
|------------------------|---------------------|------|---------|
| | Kontrol | Ayam | Kambing |
| 0 | 0 | 0 | 0 |
| 14 | 25 | 25 | 26 |
| 28 | 32 | 33 | 35 |
| 42 | 35 | 38 | 40 |
| 56 | 37 | 40 | 44 |
| 70 | 37 | 41 | 45 |

Untuk mengetahui hubungan antara umur tanaman (hari) dan pertumbuhan tinggi tanaman (cm) pada perlakuan jenis pupuk kandang dapat dilakukan analisis regresi sigmoid. Persamaan umum fungsi regresi sigmoid yaitu:

$$Y = e^{a + \frac{b_1}{X} + \frac{b_2}{X^2}}$$

Keterangan :

Y' = Nilai variabel Y yang akan diprediksi

e = bilangan e yaitu 2,718282

a = Konstanta

b_1 dan b_2 = Koefisien regresi b_1 dan b_2

X = Variabel X

X^2 = Variabel X dikuadratkan

Sebelum dilakukan analisis regresi sigmoid, maka terlebih dahulu dilakukan perubahan-perubahan berikut:

1. Variabel x menjadi $\frac{1}{x}$ sebagai X_1 ,
2. x^2 menjadi $\frac{1}{x^2}$ sebagai X_2 ,
3. y menjadi $\ln y$ sebagai Y.

Langkah-langkah untuk menyelesaikan persamaan regresi sigmoid, yaitu persamaan tersebut diubah menjadi persamaan regresi linier berganda. Persamaan regresi linier berganda dengan dua variabel X dan satu variabel Y, yaitu:

$$\ln Y = a + b_1X_1 + b_2X_2.$$

Untuk mendapatkan nilai konstanta (a atau b_0), koefisien regresi b_1 , dan b_2 dengan bantuan Metode Abreviate Doollittle.

A. Perlakuan kontrol

Kontrol adalah tanpa perlakuan terhadap tanaman. Kontrol sebagai pembanding perlakuan pupuk kandang ayam dan sapi.

Angka 0 yang terdapat pada umur tanaman dan tinggi tanaman pada Tabel 2.12 terlebih dahulu diubah menjadi 0,001 agar bisa dilakukan perhitungan ln (logaritma natural). Langkah selanjutnya data waktu pengamatan (umur) dan tinggi tanaman (cm) diubah terlebih dahulu seperti Tabel 2.13 berikut.

Tabel 2.13. Umur (x) dan Tinggi Tanaman (y) pada Kontrol

| No | Umur (x) | Tinggi Tanaman (y) | $\frac{1}{x} = X_1$ | $\frac{1}{x^2} = X_2$ | Ln y = Y |
|--------|----------|--------------------|---------------------|-----------------------|----------|
| 1 | 0,001 | 0,001 | 1000 | 1000000 | -6,9078 |
| 2 | 14 | 25 | 0,0714 | 0,0051 | 3,2189 |
| 3 | 28 | 32 | 0,0357 | 0,0013 | 3,4657 |
| 4 | 42 | 35 | 0,0238 | 0,0006 | 3,5553 |
| 5 | 56 | 37 | 0,0179 | 0,0003 | 3,6109 |
| 6 | 70 | 37 | 0,0143 | 0,0002 | 3,6109 |
| Jumlah | | | 1000,16 | 1000000,007 | 10,554 |

Lanjutan Tabel 2.13.

| X_1^2 | X_1X_2 | X_1Y | X_2^2 | X_2Y | Y^2 |
|-------------|------------|----------|-----------|------------|---------|
| 1000000 | 1000000000 | -6907,76 | 1,000E+12 | -6907755 | 47,7171 |
| 0,0051020 | 0,0003644 | 0,22992 | 2,603E-05 | 0,01642 | 10,3612 |
| 0,0012755 | 4,555E-05 | 0,12378 | 1,627E-06 | 0,00442 | 12,0113 |
| 0,0005668 | 1,350E-05 | 0,08465 | 3,214E-07 | 0,00202 | 12,6405 |
| 0,0003188 | 5,694E-06 | 0,06448 | 1,017E-07 | 0,00115 | 13,0387 |
| 0,0002040 | 2,915E-06 | 0,05158 | 4,165E-08 | 0,00074 | 13,0387 |
| 1000000,007 | 1000000000 | -6907,2 | 1,000E+12 | -6907755,3 | 108,808 |

Berdasarkan Tabel 2.13 diketahui nilai: $\Sigma X_1 = 1000,16$; $\Sigma X_2 = 1000000,007$; $\Sigma Y = 10,554$; $\Sigma X_1^2 = 1000000,007$; $\Sigma X_1X_2 = 1000000000$; $\Sigma X_1Y = -6907,2$; $\Sigma X_2^2 = 1,000E+12$; $\Sigma X_2Y = -6907755,3$; dan $\Sigma Y^2 = 108,808$. Data perhitungan ini disubstitusikan ke Tabel 2.14.

Tabel 2.14. Metode Abreviate Doollittle pada Kontrol

| Baris | Kolom I X'X | | | Kolom II X'Y | Kolom III Matriks Identitas (I) | | |
|-------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|------------------------------------|----------|----------|
| | b0 | b1 | b2 | | | | |
| | Σn | ΣX_1 | ΣX_2 | ΣY | C_{00} | C_{01} | C_{02} |
| | | ΣX_1^2 | ΣX_1X_2 | ΣX_1Y | C_{01} | C_{11} | C_{12} |
| | | | ΣX_2^2 | ΣX_2Y | C_{02} | C_{12} | C_{22} |
| 1 | 6 | 0,000,16 | 1000000 | 10,554 | 1 | 0 | 0 |
| 2 | | 000000 | 1,0E+09 | -6907,2 | 0 | 1 | 0 |
| 3 | | | 1,0E+12 | -6907755 | 0 | 0 | 1 |

| | | | | | | | |
|---|---|---------|---------|----------|----------|----------|---------|
| 4 | 6 | .000,16 | 1000000 | 10,554 | 1 | 0 | 0 |
| 5 | 1 | .66,694 | 166667 | 1,75901 | 0,16667 | 0 | 0 |
| 6 | | 333279 | 8,3E+08 | -8666,49 | -166,694 | 1 | 0 |
| 7 | | 1 | 1000,03 | -0,0104 | -0,0002 | 1,2E-06 | 0 |
| 8 | | | 2147,16 | 15,1516 | 32,6182 | -1000,03 | 1 |
| 9 | | | 1 | 0,00706 | 0,01519 | -0,46575 | 0,00047 |

Penjelasan untuk Tabel 2.14 di atas:

Baris 1, 2 dan 3 diperoleh dari perhitungan data pengamatan

Data baris 4 diambil dari baris 1

Baris 5 diperoleh dari masing-masing baris 4 dibagi angka paling depan pada baris 4

$$\begin{aligned}
 1 &= 6 : 6 \\
 166,694 &= 1000,16 : 6 \\
 166667 &= 1000000 : 6 \\
 1,75901 &= 10,554 : 6 \\
 0,16667 &= 1 : 6 \\
 0 &= 0 : 6 \\
 0 &= 0 : 6
 \end{aligned}$$

Baris 6 diperoleh dari masing-masing baris 2 - (baris 4 × baris 5)

$$\begin{aligned}
 833279 &= 1000000 - (1000,16 \times 166,694) \\
 8,3E+08 &= 1,0E+09 - (1000,16 \times 166667) \\
 -8666,49 &= -6907,2 - (1000,16 \times 1,75901) \\
 -166,694 &= 0 - (1000,16 \times 0,16667) \\
 1 &= 1 - (1000,16 \times 0) \\
 0 &= 0 - (1000,16 \times 0)
 \end{aligned}$$

Baris 7 diperoleh dari masing-masing baris 6 dibagi angka paling depan baris 6

$$\begin{aligned}
 1 &= 833279 : 833279 \\
 1000,03 &= 8,3E+08 : 833279 \\
 -0,0104 &= -8666,49 : 833279 \\
 -0,0002 &= -166,694 : 833279 \\
 1,2E-06 &= 1 : 833279 \\
 0 &= 0 : 833279
 \end{aligned}$$

Baris 8 diperoleh dari masing-masing baris 3 - (baris 4 × baris 5) - (baris 6 × baris 7)

$$\begin{array}{rcl}
 2147,16 & = & 1E+12 - (1000000 \times 166667) - (8,3E+08 \times 1000,03) \\
 -8,3E+14 & = & -6907755 - (1000000 \times 8,3E+08) - (8,3E+08 \times -0,0104) \\
 32,6182 & = & 0 - (1000000 \times 0,16667) - (8,3E+08 \times -0,0002) \\
 -1000,03 & = & 0 - (1000000 \times 0) - (8,3E+08 \times 1,2E-06) \\
 1 & = & 1 - (1000000 \times 0) - (8,3E+08 \times 0)
 \end{array}$$

Baris 9 diperoleh dari masing-masing baris 8 dibagi angka paling depan baris 8

$$\begin{array}{rcl}
 1 & = & 2147,16 : 2147,16 \\
 0,00706 & = & 15,1516 : 2147,16 \\
 0,01519 & = & 32,6182 : 2147,16 \\
 -0,46575 & = & -1000,03 : 2147,16 \\
 0,00047 & = & 1 : 2147,16
 \end{array}$$

Perhitungan untuk mendapatkan nilai b_0 , b_1 , dan b_2 :

Menghitung koefisien regresi (b_2) diambil dari baris 9:

$$\begin{array}{rcl}
 1 \times b_2 & = & 0,00706 \\
 b_2 & = & 0,00706
 \end{array}$$

Menghitung koefisien regresi (b_1) diperoleh dari baris 7:

$$\begin{array}{rcl}
 (1 \times b_1) + (1000,03 \times b_2) & = & -0,0104 \\
 b_1 + (1000,03 \times 0,00706) & = & -0,0104 \\
 b_1 & = & -0,0104 - 7,05684 \\
 b_1 & = & -7,06724
 \end{array}$$

Menghitung konstanta (b_0) diperoleh dari baris 5

$$\begin{array}{rcl}
 (1 \times b_0) + (166,694 \times b_1) + (166667 \times b_2) & = & 1,75901 \\
 b_0 + (166,694 \times -7,06724) + (166667 \times 0,00706) & = & 1,75901 \\
 b_0 & = & 1,75901 - -1178,06 - 1176,1 \\
 b_0 & = & 3,72288
 \end{array}$$

Berdasarkan perhitungan di atas diperoleh nilai a atau $b_0 = 3,72288$; $b_1 = -7,06724$ dan $b_2 = 0,00706$ sehingga diperoleh persamaan regresi sigmoid pada control (tanpa perlakuan):

$$Y = 2,718282^{3,72288 - \frac{7,06724}{x^1} + \frac{0,00706}{x^2}}$$

Perhitungan jumlah kuadrat diperoleh dari kolom II

Jumlah kuadrat konstanta (JK b_0) = faktor koreksi (FK):

$$\begin{aligned} \text{JK}_{b_0} &= \text{baris 4} \times \text{baris 5 (pada kolom II)} \\ &= 10,554 \times 1,75901 \\ &= 18,5646 \end{aligned}$$

Jumlah kuadrat koefisien regresi b_1 (JK b_1):

$$\begin{aligned} \text{JK}_{b_1} &= \text{baris 6} \times \text{baris 7 (pada kolom II)} \\ &= -8666,49 \times -0,0104 \\ &= 90,1356 \end{aligned}$$

Jumlah kuadrat koefisien regresi b_2 (JK b_2):

$$\begin{aligned} \text{JK}_{b_2} &= \text{baris 6} \times \text{baris 7 (pada Kolom II)} \\ &= 15,1516 \times 0,00706 \\ &= 0,10692 \end{aligned}$$

Jumlah kuadrat koefisien regresi (JK R):

$$\begin{aligned} \text{JK R} &= \text{JK}_{b_1} + \text{JK}_{b_2} \\ &= 90,1356 + 0,10692 \\ &= 90,2426 \end{aligned}$$

Jumlah Kuadrat Total (JK T):

$$\begin{aligned} \text{JK T} &= \sum Y^2 - \text{JK}_{b_0} \\ &= 108,808 - 18,5646 \\ &= 90,2429 \end{aligned}$$

Koefisien Determinasi atau koefisien penentu dengan simbol R^2 :

$$R^2 = \frac{\text{JK R}}{\text{JK T}} = \frac{90,2426}{90,2429} = 0,9999 \text{ atau } 99,99\%$$

Nilai $R^2 = 99,99\%$ artinya bahwa perubahan nilai Y dipengaruhi oleh nilai X sebesar 99,99% dan sisanya dipengaruhi oleh variabel lain.

B. Perlakuan Pupuk Kandang Ayam

Langkah-langkah perhitungan untuk mendapatkan persamaan regresi sigmoid sam dengan pada perlakuan pupuk kandang ayam.

Langkah awal yaitu angka 0 pada umur (x) dan tinggi tanaman (y) pada Tabel 2.12 terlebih dahulu diubah menjadi 0,001 agar bisa dilakukan perhitungan ln (logaritma natural). Langkah selanjutnya data waktu pengamatan (umur) dan tinggi tanaman (cm) diubah terlebih dahulu menjadi seperti pada Tabel 2.15.

Tabel 2.15. Umur (x) dan Tinggi Tanaman (y) pada Pupuk Kandang Ayam

| No | Umur (x) | Tinggi Tanaman (y) | $\frac{1}{x} = X_1$ | $\frac{1}{x^2} = X_2$ | Ln y = Y |
|--------|----------|--------------------|---------------------|-----------------------|----------|
| 1 | 0,001 | 0,001 | 1000 | 1000000 | -6,9078 |
| 2 | 14 | 25 | 0,0714 | 0,0051 | 3,2189 |
| 3 | 28 | 33 | 0,0357 | 0,0013 | 3,4965 |
| 4 | 42 | 38 | 0,0238 | 0,0006 | 3,6376 |
| 5 | 56 | 40 | 0,0179 | 0,0003 | 3,6889 |
| 6 | 70 | 41 | 0,0143 | 0,0002 | 3,7136 |
| Jumlah | | | 1000,16 | 1000000,007 | 10,848 |

Lanjutan Tabel 2.15.

| X_1^2 | X_1X_2 | X_1Y | X_2^2 | X_2Y | Y^2 |
|-------------|------------|----------|-----------|------------|---------|
| 1000000 | 1000000000 | -6907,76 | 1,000E+12 | -6907755 | 47,7171 |
| 0,0051020 | 0,0003644 | 0,22992 | 2,603E-05 | 0,016422 | 10,3612 |
| 0,0012755 | 4,555E-05 | 0,12488 | 1,627E-06 | 0,004459 | 12,2256 |
| 0,0005668 | 1,350E-05 | 0,08661 | 3,214E-07 | 0,002062 | 13,2320 |
| 0,0003188 | 5,694E-06 | 0,06587 | 1,017E-07 | 0,001176 | 13,6078 |
| 0,0002040 | 2,915E-06 | 0,05305 | 4,165E-08 | 0,000757 | 13,7906 |
| 1000000,007 | 1000000000 | -6907,2 | 1,000E+12 | -6907755,3 | 110,934 |

Berdasarkan Tabel 2.15 diketahui nilai: $\Sigma X_1 = 1000,16$; $\Sigma X_2 = 1000000,007$; $\Sigma Y = 10,848$; $\Sigma X_1^2 = 1000000,007$; $\Sigma X_1X_2 = 1000000000$; $\Sigma X_1Y = -6907,2$; $\Sigma X_2^2 = 1,000E+12$; $\Sigma X_2Y = -6907755,3$; dan $\Sigma Y^2 = 110,934$. Data perhitungan ini dapat disubstitusikan ke Tabel 2.16.

Tabel 2.16. Metode Abreviate Doollitle pada Pupuk Kandang Ayam

| Baris | Kolom I X'X | | | Kolom II X'Y | Kolom III Matriks Identitas (I) | | |
|-------|----------------|------------------------------|--------------------------------|-------------------|------------------------------------|-----------------|-----------------|
| | b ₀ | b ₁ | b ₂ | | | | |
| | Σn | ΣX ₁ | ΣX ₂ | ΣY | C ₀₀ | C ₀₁ | C ₀₂ |
| | | ΣX ₁ ² | ΣX ₁ X ₂ | ΣX ₁ Y | C ₀₁ | C ₁₁ | C ₁₂ |
| | | | ΣX ₂ ² | ΣX ₂ Y | C ₀₂ | C ₁₂ | C ₂₂ |
| 1 | 6 | 1000,16 | 1000000 | 10,848 | 1 | 0 | 0 |
| 2 | | 1000000 | 1,0E+09 | -6907,2 | 0 | 1 | 0 |
| 3 | | | 1,0E+12 | -6907755,3 | 0 | 0 | 1 |
| 4 | 6 | 1000,16 | 1000000 | 10,848 | 1 | 0 | 0 |
| 5 | 1 | 166,694 | 166667 | 1,80794 | 0,16667 | 0 | 0 |
| 6 | | 833279 | 8,3E+08 | -8715,43 | -166,694 | 1 | 0 |
| 7 | | 1 | 1000,03 | -0,01046 | -0,0002 | 1,2E-06 | 0 |
| 8 | | | 2147,16 | 18,8134 | 32,6182 | -1000,03 | 1 |
| 9 | | | 1 | 0,00876 | 0,01519 | -0,46575 | 0,00047 |

Penjelasan untuk Tabel 2.16 di atas:

Baris 1, 2 dan 3 diperoleh dari perhitungan data pengamatan

Data pada baris 4 diambil dari baris 1

Baris 5 diperoleh dari masing-masing baris 4 dibagi angka paling depan pada baris 4

$$\begin{aligned}
 1 &= 6 & : & 6 \\
 166,694 &= 1000,16 & : & 6 \\
 166667 &= 1000000 & : & 6 \\
 1,80794 &= 10,848 & : & 6 \\
 0,16667 &= 1 & : & 6 \\
 0 &= 0 & : & 6 \\
 0 &= 0 & : & 6
 \end{aligned}$$

Baris 6 diperoleh dari masing-masing baris 2 - (baris 4 × baris 5)

$$\begin{aligned}
 833279 &= 1000000 - (1000,16 \times 166,694) \\
 8,3E+08 &= 1,0E+09 - (1000,16 \times 166667) \\
 -8715,4 &= -6907,2 - (1000,163 \times 1,80794) \\
 -166,694 &= 0 - (1000,16 \times 0,16667) \\
 1 &= 1 - (1000,16 \times 0) \\
 0 &= 0 - (1000,16 \times 0)
 \end{aligned}$$

Baris 7 diperoleh dari masing-masing baris 6 dibagi angka paling depan baris 6

$$\begin{array}{rcl} 1 & = & 833279 : 833279 \\ 1000,03 & = & 8,3E+08 : 833279 \\ -0,0105 & = & -8715,4 : 833279 \\ -0,0002 & = & -166,69 : 833279 \\ 1,2E-06 & = & 1 : 833279 \\ 0 & = & 0 : 833279 \end{array}$$

Baris 8 diperoleh dari masing-masing baris 3 - (baris 4 × baris 5) - (baris 6 × baris 7)

$$\begin{array}{rcl} 2147,16 & = & 1E+12 - (1000000 \times 166667) - (8,3E+08 \times 1000,03) \\ -8,0E+14 & = & -7E+06 - (1000000 \times 8,3E+08) - (8,3E+08 \times -0,0105) \\ 32,6182 & = & 0 - (1000000 \times 0,16667) - (8,3E+08 \times -0,0002) \\ -1000 & = & 0 - (1000000 \times 0) - (8,3E+08 \times 1,2E-06) \\ 1 & = & 1 - (1000000 \times 0) - (8,3E+08 \times 0) \end{array}$$

Baris 9 diperoleh dari masing-masing baris 8 dibagi angka paling depan baris 8

$$\begin{array}{rcl} 1 & = & 2147,16 : 2147,155 \\ 0,00876 & = & 18,8134 : 2147,155 \\ 0,01519 & = & 32,6182 : 2147,155 \\ -0,4657 & = & -1000 : 2147,155 \\ 0,00047 & = & 1 : 2147,155 \end{array}$$

Perhitungan untuk mendapatkan nilai b_0 , b_1 , dan b_2 :

Menghitung koefisien regresi (b_2) diambil dari baris 9:

$$\begin{array}{rcl} 1 \times b_2 & = & 0,008762 \\ b_2 & = & 0,008762 \end{array}$$

Perhitungan koefisien regresi (b_1) diperoleh dari baris 7:

$$\begin{array}{rcl} (1 \times b_1) + (1000,033 \times b_2) & = & -0,0105 \\ b_1 + (1000,033 \times 0,00876) & = & -0,0105 \\ b_1 & = & -0,01046 - 8,7623 \\ b_1 & = & -8,77276 \end{array}$$

Perhitungan konstanta (b_0) diperoleh dari baris 5

$$(1 \times b_0) + (166,6938 \times b_1) + (166667 \times b_2) = 1,80794$$

$$\begin{aligned}
b_0 &+ (166,6938 \times -8,77276) + (166667 \times 0,00876) = 1,80794 \\
b_0 &= 1,807944 - 1462,36 - 1460,34 \\
b_0 &= 3,83723
\end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas diperoleh nilai a atau $b_0 = 3,83723$; $b_1 = -8,77276$ dan $b_2 = 0,008762$ sehingga diperoleh persamaan regresi sigmoid pada tanpa perlakuan (kontrol):

$$Y = 2,718282^{3,83723 - \frac{8,77276}{x^1} + \frac{0,008762}{x^2}}$$

Perhitungan jumlah kuadrat diperoleh dari kolom II

Jumlah kuadrat konstanta (JK b_0) = faktor koreksi (FK):

$$\begin{aligned}
JK_{b_0} &= \text{baris 4} \times \text{baris 5 (pada kolom II)} \\
&= 10,8477 \times 1,80794 \\
&= 19,612
\end{aligned}$$

Jumlah kuadrat koefisien regresi b_1 (JK b_1):

$$\begin{aligned}
JK_{b_1} &= \text{baris 6} \times \text{baris 7 (pada kolom II)} \\
&= -8715,4 \times -0,0105 \\
&= 91,1565
\end{aligned}$$

Jumlah kuadrat koefisien regresi b_2 (JK b_2):

$$\begin{aligned}
JK_{b_2} &= \text{baris 6} \times \text{baris 7 (pada Kolom II)} \\
&= 18,8134 \times 0,00876 \\
&= 0,16484
\end{aligned}$$

Jumlah kuadrat koefisien regresi (JK R):

$$\begin{aligned}
JK_R &= JK_{b_1} + JK_{b_2} \\
&= 91,1565 + 0,16484 \\
&= 91,3213
\end{aligned}$$

Jumlah Kuadrat Total (JK T):

$$\begin{aligned}
JK_T &= \sum Y^2 - JK_{b_0} \\
&= 110,934 - 19,612 \\
&= 91,3223
\end{aligned}$$

Koefisien determinasi atau koefisien penentu dengan simbol R^2 :

$$R^2 = \frac{JK R}{JK T} = \frac{91,3213}{91,3223} = 0,9999 \text{ atau } 99,99\%$$

Nilai $R^2 = 99,99\%$ artinya bahwa perubahan nilai Y dipengaruhi oleh nilai X sebesar 99,99% dan sisanya dipengaruhi oleh variabel lain.

C. Perlakuan Pupuk Kandang Sapi

Langkah-langkah perhitungan untuk mendapatkan persamaan regresi sigmoid dengan pada perlakuan pupuk kandang sapi. Langkah awal yaitu angka 0 pada umur (x) dan tinggi tanaman (y) pada Tabel 2.12 terlebih dahulu diubah menjadi 0,001 agar bisa dilakukan perhitungan ln. Langkah selanjutnya nilai waktu pengamatan (umur) dan tinggi tanaman (cm) diubah terlebih dahulu seperti pada Tabel 2.17.

Tabel 2.17. Umur (x) dan Tinggi Tanaman (y) pada Pupuk Kandang Sapi

| No | Umur (x) | Tinggi Tanaman (y) | $\frac{1}{x} = X_1$ | $\frac{1}{x^2} = X_2$ | Ln y = Y |
|--------|----------|--------------------|---------------------|-----------------------|----------|
| 1 | 0,001 | 0,001 | 1000 | 1000000 | -6,9078 |
| 2 | 14 | 25 | 0,0714 | 0,0051 | 3,25810 |
| 3 | 28 | 33 | 0,0357 | 0,0013 | 3,55535 |
| 4 | 42 | 38 | 0,0238 | 0,0006 | 3,68888 |
| 5 | 56 | 40 | 0,0179 | 0,0003 | 3,78419 |
| 6 | 70 | 41 | 0,0143 | 0,0002 | 3,80666 |
| Jumlah | | | 1000,16 | 1000000,007 | 11,1854 |

Lanjutan Tabel 2.17.

| X_1^2 | X_1X_2 | X_1Y | X_2^2 | X_2Y | Y^2 |
|-------------|------------|----------|-----------|------------|---------|
| 1000000 | 1000000000 | -6907,76 | 1,000E+12 | -6907755 | 47,7171 |
| 0,0051020 | 0,0003644 | 0,23272 | 2,603E-05 | 0,016422 | 10,6152 |
| 0,0012755 | 4,555E-05 | 0,12698 | 1,627E-06 | 0,004459 | 12,6405 |
| 0,0005668 | 1,350E-05 | 0,08783 | 3,214E-07 | 0,002062 | 13,6078 |
| 0,0003188 | 5,694E-06 | 0,06757 | 1,017E-07 | 0,001176 | 14,3201 |
| 0,0002040 | 2,915E-06 | 0,05438 | 4,165E-08 | 0,000757 | 14,4907 |
| 1000000,007 | 1000000000 | -6907,19 | 1,000E+12 | -6907755,3 | 113,391 |

Berdasarkan Tabel 2.17 diketahui nilai: $\Sigma X_1 = 1000,16$; $\Sigma X_2 = 1000000,007$; $\Sigma Y = 11,1854$; $\Sigma X_1^2 = 1000000,007$; $\Sigma X_1X_2 = 1000000000$; $\Sigma X_1Y = -6907,19$; $\Sigma X_2^2 = 1,000E+12$; $\Sigma X_2Y = -6907755,3$; dan $\Sigma Y^2 = 113,391$ disubstitusikan ke Tabel 2.18.

Tabel 2.18. Metode Abreviate Doollitle pada Pupuk Kandang Sapi

| Baris | Kolom I | | | Kolom II | Kolom III | | |
|-------|------------|----------------|------------------|----------------|-----------------------|----------|----------|
| | b_0 | $X'X$ | b_2 | $X'Y$ | Matriks Identitas (I) | | |
| | Σn | ΣX_1 | ΣX_2 | ΣY | C_{00} | C_{01} | C_{02} |
| | | ΣX_1^2 | $\Sigma X_1 X_2$ | $\Sigma X_1 Y$ | C_{01} | C_{11} | C_{12} |
| | | | ΣX_2^2 | $\Sigma X_2 Y$ | C_{02} | C_{12} | C_{22} |
| 1 | 6 | 1000,16 | 1000000 | 11,1854 | 1 | 0 | 0 |
| 2 | | 1000000 | 1,0E+09 | -6907,19 | 0 | 1 | 0 |
| 3 | | | 1,0E+12 | -6907755,3 | 0 | 0 | 1 |
| 4 | 6 | 1000,16 | 1000000 | 11,1854 | 1 | 0 | 0 |
| 5 | 1 | 166,694 | 166667 | 1,86424 | 0,16667 | 0 | 0 |
| 6 | | 833279 | 8,3E+08 | -8771,73 | -166,694 | 1 | 0 |
| 7 | | 1 | 1000,03 | -0,01053 | -0,0002 | 1,2E-06 | 0 |
| 8 | | | 2147,16 | 20,6744 | 32,6182 | -1000,03 | 1 |
| 9 | | | 1 | 0,00963 | 0,01519 | -0,46575 | 0,00047 |

Penjelasan untuk Tabel 2.18 di atas:

Baris 1, 2 dan 3 diperoleh dari perhitungan data pengamatan

Data pada baris 4 diambil dari baris 1

Baris 5 diperoleh dari masing-masing baris 4 dibagi angka paling depan baris 4

$$\begin{aligned}
 1 &= 6 & : & 6 \\
 166,694 &= 1000,16 & : & 6 \\
 166667 &= 1000000 & : & 6 \\
 1,86424 &= 11,1854 & : & 6 \\
 0,16667 &= 1 & : & 6 \\
 0 &= 0 & : & 6 \\
 0 &= 0 & : & 6
 \end{aligned}$$

Baris 6 diperoleh dari masing-masing baris 2 - (baris 4 × baris 5)

$$\begin{aligned}
 833279 &= 1000000 - (1000,16 \times 166,694) \\
 8,3E+08 &= 1,0E+09 - (1000,16 \times 166667) \\
 -8715,4 &= -6907,2 - (1000,163 \times 1,80794) \\
 -166,694 &= 0 - (1000,16 \times 0,16667) \\
 1 &= 1 - (1000,16 \times 0)
 \end{aligned}$$

$$0 = 0 - (1000,16 \times 0)$$

Baris 7 diperoleh dari masing-masing baris 6 dibagi angka paling depan baris 6

$$\begin{aligned} 1 &= 833279 : 833279 \\ 1000,03 &= 8,3E+08 : 833279 \\ -0,01053 &= -8771,73 : 833279 \\ -0,0002 &= -166,694 : 833279 \\ 1,2E-06 &= 1 : 833279 \\ 0 &= 0 : 833279 \end{aligned}$$

Baris 8 diperoleh dari masing-masing baris 3 - (baris 4 × baris 5) - (baris 6 × baris 7)

$$\begin{aligned} 2147,16 &= 1,0E+12 - (1000000 \times 166667) - (8,3E+08 \times 1000,03) \\ -8,3E+14 &= -6907755,3 - (1000000 \times 8,3E+08) - (8,3E+08 \times -0,01053) \\ 32,6182 &= 0 - (1000000 \times 0,16667) - (8,3E+08 \times -0,0002) \\ -1000,03 &= 0 - (1000000 \times 0) - (8,3E+08 \times 1,2E-06) \\ 1 &= 1 - (1000000 \times 0) - (8,3E+08 \times 0) \end{aligned}$$

Baris 9 diperoleh dari masing-masing baris 8 dibagi angka paling depan baris 8

$$\begin{aligned} 1 &= 2147,16 : 2147,16 \\ 0,00963 &= 20,6744 : 2147,16 \\ 0,01519 &= 32,6182 : 2147,16 \\ -0,46575 &= -1000,03 : 2147,16 \\ 0,00047 &= 1 : 2147,16 \end{aligned}$$

Perhitungan untuk mendapatkan nilai b_0 , b_1 , dan b_2

Menghitung koefisien regresi (b_2) diambil dari baris 9:

$$\begin{aligned} 1 \times b_2 &= 0,00963 \\ b_2 &= 0,00963 \end{aligned}$$

Menghitung koefisien regresi (b_1) diperoleh dari baris 7:

$$\begin{aligned} (1 \times b_1) + (1000,03 \times b_2) &= -0,01053 \\ b_1 + (1000,03 \times 0,00963) &= -0,01053 \\ b_1 &= -0,01053 - 9,62905 \\ b_1 &= -9,63958 \end{aligned}$$

Menghitung konstanta (b_0) diperoleh dari baris 5

$$\begin{aligned} (1 \times b_0) + (166,694 \times b_1) + (166667 \times b_2) &= 1,86424 \\ b_0 + (166,694 \times -9,63958) + (166667 \times 0,00963) &= 1,86424 \\ b_0 &= 1,86424 - 1606,86 - 1604,79 \\ b_0 &= 3,93305 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas diperoleh nilai a atau $b_0 = 3,93305$; $b_1 = -9,63958$ dan $b_2 = 0,00963$ sehingga diperoleh persamaan regresi sigmoid pada perlakuan kontrol:

$$Y = 2,718282^{3,93305 - \frac{9,63958}{X^1} + \frac{0,00963}{X^2}}$$

Perhitungan jumlah kuadrat diperoleh dari kolom II

Jumlah kuadrat konstanta ($JK b_0$) = faktor koreksi (FK):

$$\begin{aligned} JKb_0 &= \text{baris 4} \times \text{baris 5 (pada kolom II)} \\ &= 11,1854 \times 1,86424 \\ &= 20,8523 \end{aligned}$$

Jumlah kuadrat koefisien regresi b_1 ($JK b_1$):

$$\begin{aligned} JK b_1 &= \text{baris 6} \times \text{baris 7 (pada kolom II)} \\ &= -8771,73 \times -0,01053 \\ &= 92,3378 \end{aligned}$$

Jumlah kuadrat koefisien regresi b_2 ($JK b_2$):

$$\begin{aligned} JK b_2 &= \text{baris 6} \times \text{baris 7 (pada Kolom II)} \\ &= 20,6744 \times 0,00963 \\ &= 0,19907 \end{aligned}$$

Jumlah kuadrat koefisien regresi ($JK R$):

$$\begin{aligned} JK R &= JK b_1 + JK b_2 \\ &= 92,3378 + 0,19907 \\ &= 92,5369 \end{aligned}$$

Jumlah kuadrat total ($JK T$):

$$\begin{aligned} JK T &= \sum Y^2 - JK b_0 \\ &= 113,391 - 20,8523 \\ &= 92,5391 \end{aligned}$$

Koefisien Determinasi atau koefisien penentu dengan simbol R^2 :

$$R^2 = \frac{JK R}{JK T} = \frac{92,5369}{92,5391} = 0,9999 \text{ atau } 99,99\%$$

Nilai $R^2 = 99,99\%$ artinya bahwa perubahan nilai Y dipengaruhi oleh nilai X sebesar 99,99% dan sisanya dipengaruhi oleh variabel lain.

Berdasarkan perhitungan analisis regresi linier berganda pada perlakuan kontrol, pupuk kandang ayam dan sapi, maka dapat dibuat persamaan regresi sigmoid dan koefisien determinasi berikut:

1. Perlakuan kontrol

$$Y' = 2,718282^{3,72288} - \frac{7,06724}{X^1} + \frac{0,00706}{X^2} \text{ dan } R^2 = 99,99\% \dots\dots\dots (1)$$

2. Perlakuan pupuk kandang ayam

$$Y' = 2,718282^{3,83723} - \frac{8,77276}{X^1} + \frac{0,00876}{X^2} \text{ dan } R^2 = 99,99\% \dots\dots\dots (2)$$

3. Perlakuan pupuk kandang sapi

$$Y' = 2,718282^{3,93305} - \frac{9,63958}{X^1} + \frac{0,00963}{X^2} \text{ dan } R^2 = 99,99\% \dots\dots\dots (3)$$

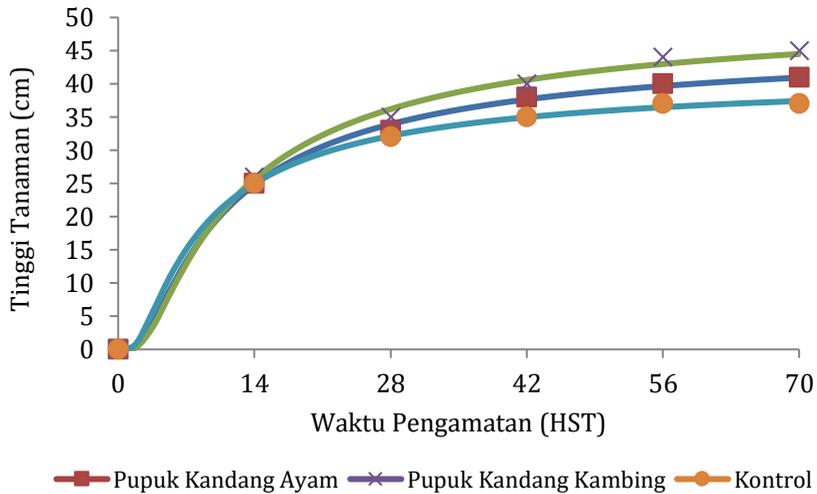
Berdasarkan persamaan tersebut dapat dilakukan perhitungan nilai Y estimate dari masing-masing perlakuan seperti pada Tabel 2.19 dibuat kurve sigmoid dengan cara berikut.

Tabel 2.19. Umur Tanaman, Nilai Y' (*Predicted*) dan Nilai Y (*Observed*) pada Perlakuan Kontrol, Pupuk Kandang Ayam, dan Sapi

| Umur Tanaman (X) | Kontrol | | Pupuk Kandang Ayam | | Pupuk Kandang Sapi | |
|------------------|-------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| | Nilai Y' (<i>Predicted</i>) | Nilai Y (<i>Observed</i>) | Nilai Y' (<i>Predicted</i>) | Nilai Y (<i>Observed</i>) | Nilai Y' (<i>Predicted</i>) | Nilai Y (<i>Observed</i>) |
| 0,001 | 0,0001 | 0,001 | 0,0000 | 0,001 | 0,0000 | 0,001 |
| 1,75 | 0,3094 | | 0,2063 | | 0,7277 | |
| 3,5 | 3,7865 | | 3,2482 | | 5,4909 | |
| 5,25 | 8,7280 | | 8,1384 | | 10,7669 | |
| 7 | 13,2521 | | 12,8813 | | 15,0763 | |
| 8,75 | 17,026 | | 16,9669 | | 18,4506 | |
| 10,5 | 20,1219 | | 20,3873 | | 21,1099 | |
| 12,25 | 22,6723 | | 23,2449 | | 23,2408 | |
| 14 | 24,7952 | 25 | 25,6480 | 26 | 24,9790 | 25 |
| 15,75 | 26,5828 | | 27,6875 | | 26,4203 | |
| 17,5 | 28,1053 | | 29,4352 | | 27,6330 | |

| | | | | | | |
|-------|---------|----|---------|----|---------|----|
| 19,25 | 29,4156 | | 30,9469 | | 28,6664 | |
| 21 | 30,5541 | | 32,2657 | | 29,5571 | |
| 22,75 | 31,5518 | | 33,4255 | | 30,3323 | |
| 24,5 | 32,4329 | | 34,4527 | | 31,0130 | |
| 26,25 | 33,2164 | | 35,3684 | | 31,6152 | |
| 28 | 33,9174 | 33 | 36,1896 | 35 | 32,1517 | 32 |
| 29,75 | 34,5483 | | 36,9300 | | 32,6326 | |
| 31,5 | 35,1189 | | 37,6009 | | 33,0662 | |
| 33,25 | 35,6374 | | 38,2114 | | 33,4590 | |
| 35 | 36,1106 | | 38,7694 | | 33,8165 | |
| 36,75 | 36,5442 | | 39,2812 | | 34,1432 | |
| 38,5 | 36,9429 | | 39,7524 | | 34,4430 | |
| 40,25 | 37,3107 | | 40,1875 | | 34,7190 | |
| 42 | 37,6510 | 38 | 40,5906 | 40 | 34,9740 | 35 |
| 43,75 | 37,9669 | | 40,9649 | | 35,2102 | |
| 45,5 | 38,2608 | | 41,3136 | | 35,4296 | |
| 47,25 | 38,535 | | 41,6390 | | 35,6340 | |
| 49 | 38,7914 | | 41,9436 | | 35,8249 | |
| 50,75 | 39,0316 | | 42,2291 | | 36,0035 | |
| 52,5 | 39,2571 | | 42,4973 | | 36,1710 | |
| 54,25 | 39,4693 | | 42,7498 | | 36,3285 | |
| 56 | 39,6693 | 40 | 42,9878 | 44 | 36,4767 | 37 |
| 57,75 | 39,8580 | | 43,2126 | | 36,6164 | |
| 59,5 | 40,0365 | | 43,4253 | | 36,7485 | |
| 61,25 | 40,2055 | | 43,6268 | | 36,8734 | |
| 63 | 40,3658 | | 43,8179 | | 36,9918 | |
| 64,75 | 40,5180 | | 43,9995 | | 37,1041 | |
| 66,5 | 40,6627 | | 44,1722 | | 37,2108 | |
| 68,25 | 40,8005 | | 44,3367 | | 37,3124 | |
| 70 | 40,9318 | 41 | 44,4936 | 45 | 37,4091 | 37 |

Berdasarkan Tabel 2.19 di atas, maka dapat dibuat kurva pertumbuhan tinggi tanaman pada perlakuan pupuk kandang pada umur 0, 14, 28, 42, 56, dan 70 HST seperti pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3. Hubungan Umur tanaman (hari) dan Tinggi Tanaman Kacang Tanah (cm) pada Perlakuan Pupuk Kandang

2.4. Kurva Eksponensial

Pertumbuhan tanaman tahunan atau menahun, adakalanya pertumbuhannya mengikuti kurve eksponensial terutama pertumbuhan diameternya. Berikut akan dijelaskan model eksponensial pertumbuhan tanaman. Persamaan umum regresi eksponensial, yaitu:

$$Y' = a X^b$$

Keterangan:

Y' = Nilai variabel Y yang akan diduga

a = Konstanta

b = Koefisien regresi b

X = Variabel X

Untuk melakukan penyelesaian dari persamaan tersebut, maka persamaan non linier tersebut harus dilinierkan terlebih dahulu menjadi:

$$\ln Y = \ln a + b \ln X$$

Pengamatan terhadap diameter tanaman tahunan jati secara periodik dilakukan dari umur 1, 7, 14, 21, 28, dan 35 tahun setelah tanam (TST), diperoleh data berikut.

Tabel 2.20. Waktu pengamatan (TST) dan Diameter Batang Tanaman (cm) pada Tiga Jarak Tanam (m)

| Jarak Tanam (m) | Waktu Pengamatan (TST) | | | | | |
|-----------------|------------------------|------|------|------|----|----|
| | 1 | 7 | 14 | 21 | 28 | 35 |
| 3 × 2 | 3 | 11 | 17,5 | 20,9 | 25 | 29 |
| 3 × 3 | 3 | 12 | 19,5 | 23,4 | 28 | 32 |
| 3 × 4 | 3 | 12,5 | 20 | 24,9 | 30 | 34 |

Data pada Tabel 2.20 diubah menjadi data dalam logaritma naturan (ln) terlebih dahulu hingga menjadi seperti Tabel 2.21 berikut:

Tabel 2.21. Umur Tanaman (TST) dan Diameter Batang Tanaman (cm) dalam Logaritma Natural pada Tiga Jarak Tanam (m)

| Jarak Tanam (m) | Waktu Pengamatan (TST) | | | | | |
|-----------------|------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 1 | 7 | 14 | 21 | 28 | 35 |
| 3 x 2 | 1,0986 | 2,3979 | 2,8622 | 3,0397 | 3,2188 | 3,3673 |
| 3 x 3 | 1,0986 | 2,4849 | 2,9704 | 3,1527 | 3,3322 | 3,4657 |
| 3 x 4 | 1,0986 | 2,5257 | 2,9957 | 3,2148 | 3,4012 | 3,5263 |

Untuk mendapatkan persamaan regresi eksponensial, maka dilakukan analisis regresi pada masing-masing jarak tanam 3 × 2, 3 × 3, dan 3 × 4 m secara bertahap sebagai berikut.

A. Jarak Tanam 3 × 2 m

Langkah-langkah analisis regresi eksponensial untuk mendapatkan nilai b_0 dan b_1 pada jarak tanam 3 × 2 m, dijelaskan sebagai berikut.

Tabel 2.22. Umur Tanaman (X) dan Diameter Batang (Y) pada Jarak Tanam 3 × 2 m

| No | X | Y | X ² | XY | Y ² |
|--------|---------|---------|----------------|---------|----------------|
| 1 | 0,0000 | 1,0986 | 0,0000 | 0,0000 | 1,2069 |
| 2 | 1,9459 | 2,3979 | 3,7865 | 4,6660 | 5,7499 |
| 3 | 2,6390 | 2,8622 | 6,9646 | 7,5535 | 8,1921 |
| 4 | 3,0445 | 3,0397 | 9,2691 | 9,2545 | 9,2400 |
| 5 | 3,3322 | 3,2188 | 11,1036 | 10,7260 | 10,3612 |
| 6 | 3,5553 | 3,3673 | 12,6405 | 11,9719 | 11,3387 |
| Jumlah | 14,5170 | 15,9846 | 43,7644 | 44,1721 | 46,0889 |

Berdasarkan Tabel 2.22 diketahui nilai: $\Sigma X = 14,517$; $\Sigma Y = 15,9846$; $\Sigma X^2 = 43,7644$; $\Sigma XY = 44,172$; dan $\Sigma Y^2 = 46,089$ disubstitusikan ke Tabel 2.23.

Perhitungan konstanta (a) dan koefisien regresi (b₁) dapat digunakan bantuan metode Abreviate Doollittle seperti pada Tabel 2.23.

Tabel 2.23. Metode Abreviate Doollittle pada Jarak Tanam 3 × 2 m

| Baris | Kolom I | | Kolom II | Kolom III | |
|-------|----------------|---|-------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| | b ₀ | X'X b ₁ | X'Y | Matriks Identitas (I) | |
| | Σn | ΣX ₁ ΣX ₁ ² | ΣY ΣX ₁ Y | C ₀₀ C ₀₁ | C ₀₁ C ₁₁ |
| 1 | 6 | 14,517 | 15,9846 | 1 | 0 |
| 2 | | 43,7644 | 44,172 | 0 | 1 |
| 4 | 6 | 14,517 | 15,9846 | 1 | 0 |
| 5 | 1 | 2,41951 | 2,6641 | 0,16667 | 0 |
| 6 | | 8,64031 | 5,49712 | -2,4195 | 1 |
| 7 | | 1 | 0,63622 | -0,28 | 0,11574 |

Baris 1, 2 dan 3 diperoleh dari perhitungan data pengamatan

Data pada baris 3 diambil dari baris 1

Baris 5 diperoleh dari masing-masing baris 4 dibagi angka paling depan baris 4

$$\begin{aligned}
 1 &= 6 & : & 6 \\
 2,41951 &= 14,517 & : & 6 \\
 2,6641 &= 15,9846 & : & 6 \\
 0,16667 &= 1 & : & 6 \\
 0 &= 0 & : & 6
 \end{aligned}$$

Baris 6 diperoleh dari masing-masing baris 2 - (baris 4 × baris 5)

$$\begin{aligned}
 8,64031 &= 43,7644 - (14,517 \times 2,41951) \\
 5,49712 &= 44,172 - (14,517 \times 2,6641) \\
 -2,4195 &= 0 - (14,517 \times 0,16667) \\
 1 &= 1 - (14,517 \times 0)
 \end{aligned}$$

Baris 7 diperoleh dari masing-masing baris 6 dibagi angka paling depan baris 6

$$\begin{aligned}
 1 &= 8,64031 & : & 8,64031 \\
 0,63622 &= 5,49712 & : & 8,64031 \\
 -0,28 &= -2,4195 & : & 8,64031
 \end{aligned}$$

$$0,11574 = 1 : 8,64031$$

Menghitung koefisien regresi (b_2) diambil dari baris 9:

$$\begin{aligned} 1 \times b_1 &= 0,6362 \\ b_1 &= 0,6362 \end{aligned}$$

Menghitung koefisien regresi (b_1) diperoleh dari baris 7:

$$\begin{aligned} (1 \times b_0) + (2,41951 \times b_1) &= 2,6641 \\ b_0 + (2,41951 \times 0,63622) &= 2,6641 \\ b_0 &= 2,6641 - 1,53934 \\ b_0 &= 1,12477 \end{aligned}$$

Nilai b_0 dinormalkan dahulu dengan anti $\ln(1,12477) = 2,71828^{1,12477}$ sehingga diperoleh nilai $b_0 = 3,0795$ dan $b_1 = 0,63622$, sehingga diperoleh persamaan regresi logistik pada jarak tanam 3×2 m:

$$Y' = 3,0795 X^{0,6362}$$

Perhitungan Jumlah Kuadrat diperoleh dari kolom II

Jumlah kuadrat konstanta (JK b_0) = faktor koreksi (FK):

$$\begin{aligned} \text{JK } b_0 &= \text{baris 4} \times \text{baris 5 (pada kolom II)} \\ &= 15,9846 \times 2,6641 \\ &= 42,5847 \end{aligned}$$

Jumlah kuadrat koefisien regresi b_1 (JK b_1):

$$\begin{aligned} \text{JK } b_1 &= \text{baris 6} \times \text{baris 7 (pada Kolom II)} \\ &= 5,49712 \times 0,63622 \\ &= 3,49737 \end{aligned}$$

Jumlah kuadrat total (JKT):

$$\begin{aligned} \text{JK T} &= \sum Y^2 - \text{JK } b_0 \\ &= 46,089 - 42,5847 \\ &= 3,50423 \end{aligned}$$

Koefisien determinasi (penentu) dengan simbol r^2 dihitung sebagai berikut:

$$r^2 = \frac{\text{JK R}}{\text{JK T}} = \frac{3,49737}{3,50423} = 0,9980 \text{ atau } 99,80\%$$

Nilai $r^2 = 99,80\%$ artinya bahwa perubahan nilai Y dipengaruhi oleh nilai X sebesar 99,80% dan sisanya dipengaruhi oleh variabel lain.

A. Jarak Tanam 3 × 3 m

Langkah-langkah analisis regresi eksponensial untuk mendapatkan nilai b_0 dan b_1 pada jarak tanam 3 × 3 m, dijelaskan sebagai berikut.

Tabel 2.24. Umur Tanaman (X) dan Diameter Batang (Y) pada Jarak Tanam 3 × 3 m

| No | X | Y | X ² | XY | Y ² |
|--------|---------|---------|----------------|---------|----------------|
| 1 | 0,0000 | 1.0986 | 0,0000 | 0,0000 | 1.2069 |
| 2 | 1,9459 | 2,4849 | 3,7865 | 4,8354 | 6,1747 |
| 3 | 2,6390 | 2,9704 | 6,9646 | 7,8390 | 8,8233 |
| 4 | 3,0445 | 3,1527 | 9,2691 | 9,5985 | 9,9397 |
| 5 | 3,3322 | 3,3322 | 11,103 | 11,103 | 11,103 |
| 6 | 3,5553 | 3,4657 | 12,640 | 12,321 | 12,011 |
| Jumlah | 14,5170 | 16,5046 | 43,7644 | 45,6986 | 49,2597 |

Berdasarkan Tabel 2.24 diketahui nilai: $\Sigma X = 14,5170$; $\Sigma Y = 16,5046$; $\Sigma X^2 = 43,7644$; $\Sigma XY = 45,6986$; dan $\Sigma Y^2 = 49,2597$ dan disubstitusikan ke Tabel 2.25.

Perhitungan konstanta (a) dan koefisien regresi (b) dapat digunakan bantuan metode Abreviate Doollittle seperti pada Tabel 2.25.

Tabel 2.25. Metode Abreviate Doollittle pada Jarak Tanam 3 × 3 m

| Baris | Kolom I | | Kolom II | Kolom III | |
|-------|------------|----------------|----------------|-----------------------|----------|
| | b_0 | b_1 | X'Y | Matriks Identitas (I) | |
| | Σn | ΣX_1 | ΣY | C_{00} | C_{01} |
| | | ΣX_1^2 | $\Sigma X_1 Y$ | C_{01} | C_{11} |
| 1 | 6 | 14,517 | 16,5046 | 1 | 0 |
| 2 | | 43,7644 | 45,6986 | 0 | 1 |
| 4 | 6 | 14,517 | 16,5046 | 1 | 0 |
| 5 | 1 | 2,41951 | 2,75077 | 0,16667 | 0 |
| 6 | | 8,64031 | 5,76554 | -2,4195 | 1 |
| 7 | | 1 | 0,66728 | -0,28 | 0,11574 |

Baris 1, 2 dan 3 diperoleh dari perhitungan data pengamatan

Data pada baris 3 diambil dari baris 1

Baris 5 diperoleh dari masing-masing baris 4 dibagi angka paling depan baris 4

$$\begin{array}{rclcl} 1 & = & 6 & : & 6 \\ 2,42 & = & 14,517 & : & 6 \\ 2,751 & = & 16,5046 & : & 6 \\ 0,167 & = & 1 & : & 6 \\ 0 & = & 0 & : & 6 \end{array}$$

Baris 6 diperoleh dari masing-masing baris 2 - (baris 4 × baris 5)

$$\begin{array}{rclcl} 8,64 & = & 43,7644 & - (& 14,517 \times 2,41951 &) \\ 5,766 & = & 45,6986 & - (& 14,517 \times 2,75077 &) \\ -2,42 & = & 0 & - (& 14,517 \times 0,16667 &) \\ 1 & = & 1 & - (& 14,517 \times 0 &) \end{array}$$

Baris 7 diperoleh dari masing-masing baris 6 dibagi angka paling depan baris 6

$$\begin{array}{rclcl} 1 & = & 8,64031 & : & 8,64031 \\ 0,667 & = & 5,76554 & : & 8,64031 \\ -0,28 & = & -2,4195 & : & 8,64031 \\ 0,116 & = & 1 & : & 8,64031 \end{array}$$

Menghitung koefisien regresi (b_2) diambil dari baris 9:

$$\begin{array}{rcl} 1 \times b_1 & = & 0,66728 \\ b_1 & = & 0,66728 \end{array}$$

Menghitung koefisien regresi (b_1) diperoleh dari baris 7:

$$\begin{array}{rclcl} (1 \times b_0) + (2,41951 \times b_1) & = & 2,7508 \\ b_0 + (2,41951 \times 0,66728) & = & 2,7508 \\ b_0 & = & 2,75077 - 1,6145 \\ b_0 & = & 1,13627 \end{array}$$

Nilai b_0 dinormalkan dahulu dengan anti $\ln(1,13627) = 2,71828^{1,13627}$ sehingga diperoleh nilai $b_0 = 3,1151$ dan $b_1 = 0,66728$, sehingga diperoleh persamaan regresi logistik pada jarak tanam 3×3 m:

$$Y' = 3,1151 X^{0,66728}$$

Perhitungan Jumlah Kuadrat diperoleh dari kolom II

Jumlah kuadrat konstanta (JK b_0) = faktor koreksi (FK):

$$\begin{aligned} \text{JK } b_0 &= \text{baris 4} \times \text{baris 5 (pada kolom II)} \\ &= 16,5046 \times 2,75077 \\ &= 45,4004 \end{aligned}$$

Jumlah kuadrat koefisien regresi b_1 (JK b_1):

$$\begin{aligned} \text{JK } b_1 &= \text{baris 6} \times \text{baris 7 (pada Kolom II)} \\ &= 5,76554 \times 0,66728 \\ &= 3,84725 \end{aligned}$$

Jumlah kuadrat total (JKT):

$$\begin{aligned} \text{JK T} &= \sum Y^2 - \text{JK } b_0 \\ &= 49,2597 - 45,4004 \\ &= 3,85937 \end{aligned}$$

Koefisien determinasi (penentu) dengan simbol r^2 dihitung sebagai berikut:

$$r^2 = \frac{\text{JK R}}{\text{JK T}} = \frac{3,84725}{3,85937} = 0,9969 \text{ atau } 99,69\%$$

Nilai $r^2 = 99,69\%$ artinya bahwa perubahan variabel Y dipengaruhi oleh variabel X sebesar 99,69% dan sisanya dipengaruhi oleh variabel lain.

A. Jarak Tanam 3×4 m

Langkah-langkah analisis regresi eksponensial untuk mendapatkan nilai b_0 dan b_1 pada jarak tanam 3×3 m, dijelaskan sebagai berikut.

Tabel 2.26. Umur Tanaman (X) dan Diameter Batang (Y) pada Jarak Tanam 3 × 4 m

| No | X | Y | X ² | XY | Y ² |
|--------|---------|---------|----------------|---------|----------------|
| 1 | 0,0000 | 1.0986 | 0,0000 | 0,0000 | 1.2069 |
| 2 | 1,9459 | 2,5257 | 3,7865 | 4,9148 | 6,3793 |
| 3 | 2,6390 | 2,9957 | 6,9646 | 7,9059 | 8,9744 |
| 4 | 3,0445 | 3,2148 | 9,2691 | 9,7877 | 10,335 |
| 5 | 3,3322 | 3,4011 | 11,103 | 11,333 | 11,5681 |
| 6 | 3,5553 | 3,5263 | 12,640 | 12,537 | 12,4352 |
| Jumlah | 14,5170 | 16,7625 | 43,7644 | 46,4794 | 50,8994 |

Berdasarkan Tabel 2.26 diketahui nilai: $\Sigma X = 14,5170$; $\Sigma Y = 16,7625$; $\Sigma X^2 = 43,7644$; $\Sigma XY = 46,4794$; dan $\Sigma Y^2 = 50,8994$ disubstitusikan ke Tabel 2.27.

Perhitungan konstanta (a) dan koefisien regresi (b₁) dapat digunakan bantuan metode Abreviate Doollittle seperti pada Tabel 2.27.

Tabel 2.27. Metode Abreviate Doollittle pada Jarak Tanam 3 × 4 m

| Baris | Kolom I | | Kolom II | Kolom III | |
|-------|----------------|--------------------------------|------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| | b ₀ | b ₁ | X'Y | Matriks Identitas (I) | |
| | Σn | ΣX_1 ΣX_1^2 | ΣY $\Sigma X_1 Y$ | C ₀₀ C ₀₁ | C ₀₁ C ₁₁ |
| 1 | 6 | 14,517 | 16,7625 | 1 | 0 |
| 2 | | 43,7644 | 46,4794 | 0 | 1 |
| 4 | 6 | 14,517 | 16,7625 | 1 | 0 |
| 5 | 1 | 2,41951 | 2,79375 | 0,16667 | 0 |
| 6 | | 8,64031 | 5,92243 | -2,4195 | 1 |
| 7 | | 1 | 0,68544 | -0,28 | 0,11574 |

Baris 1, 2 dan 3 diperoleh dari perhitungan data pengamatan

Data pada baris 3 diambil dari baris 1

Baris 5 diperoleh dari masing-masing baris 4 dibagi angka paling depan baris 4

$$\begin{aligned}
 1 &= 6 & : & 6 \\
 2,41951 &= 14,517 & : & 6 \\
 2,79375 &= 16,7625 & : & 6 \\
 0,16667 &= 1 & : & 6
 \end{aligned}$$

$$0 = 0 : 6$$

Baris 6 diperoleh dari masing-masing baris 2 - (baris 4 × baris 5)

$$\begin{aligned} 8,64031 &= 43,7644 - (14,517 \times 2,41951) \\ 5,92243 &= 46,4794 - (14,517 \times 2,79375) \\ -2,4195 &= 0 - (14,517 \times 0,16667) \\ 1 &= 1 - (14,517 \times 0) \end{aligned}$$

Baris 7 diperoleh dari masing-masing baris 6 dibagi angka paling depan baris 6

$$\begin{aligned} 1 &= 8,64031 : 8,64031 \\ 0,68544 &= 5,92243 : 8,64031 \\ -0,28 &= -2,4195 : 8,64031 \\ 0,11574 &= 1 : 8,64031 \end{aligned}$$

Menghitung koefisien regresi (b_2) diambil dari baris 9:

$$\begin{aligned} 1 \times b_1 &= 0,68544 \\ b_1 &= 0,68544 \end{aligned}$$

Menghitung koefisien regresi (b_1) diperoleh dari baris 7:

$$\begin{aligned} (1 \times b_0) + (2,41951 \times b_1) &= 2,79375 \\ b_0 + (2,41951 \times 0,68544) &= 2,79375 \\ b_0 &= 2,79375 - 1,65843 \\ b_0 &= 1,13532 \end{aligned}$$

Nilai b_0 dinormalkan dahulu dengan anti Ln ($1,13532$) = $2,71828^{1,13532}$ sehingga diperoleh nilai $b_0 = 3,1122$ dan $b_1 = 0,68544$, sehingga diperoleh persamaan regresi logistik pada jarak tanam 3×4 m:

$$Y' = 3,1122 X^{0,68544}$$

Perhitungan Jumlah Kuadrat diperoleh dari kolom II

Jumlah kuadrat konstanta ($JK b_0$) = faktor koreksi (FK):

$$\begin{aligned} JK b_0 &= \text{baris 4} \times \text{baris 5 (pada kolom II)} \\ &= 16,7625 \times 2,79375 \end{aligned}$$

$$= 46,8302$$

Jumlah kuadrat koefisien regresi b_1 (JK b_1):

$$\begin{aligned} \text{JK } b_1 &= \text{baris 6} \times \text{baris 7 (pada Kolom II)} \\ &= 5,92243 \times 0,68544 \\ &= 4,05948 \end{aligned}$$

Jumlah kuadrat total (JKT):

$$\begin{aligned} \text{JK T} &= \sum Y^2 - \text{JK } b_0 \\ &= 50,8994 - 46,8302 \\ &= 4,06917 \end{aligned}$$

Koefisien determinasi (penentu) dengan simbol r^2 dihitung sebagai berikut:

$$r^2 = \frac{\text{JK R}}{\text{JK T}} = \frac{4,05948}{4,06917} = 0,9976 \text{ atau } 99,76\%.$$

Nilai $r^2 = 99,76\%$ artinya bahwa perubahan nilai variabel Y dipengaruhi oleh variabel X sebesar 99,76% dan sisanya dipengaruhi oleh variabel lain.

Hasil analisis regresi eksponensial pada ketiga jarak tanam di atas diperoleh persamaan:

1. Pada jarak tanam 3×2 m

$$Y' = 3,0795 X^{0,6362} \text{ dan } r^2 = 99,80\% \dots\dots\dots (1)$$

2. Pada jarak tanam 3×3 m

$$Y' = 3,1151 X^{0,66728} \text{ dan } r^2 = 99,69\% \dots\dots\dots (2)$$

3. Pada jarak tanam 3×4 m

$$Y' = 3,1122 X^{0,68544} \text{ dan } r^2 = 99,76\% \dots\dots\dots (3)$$

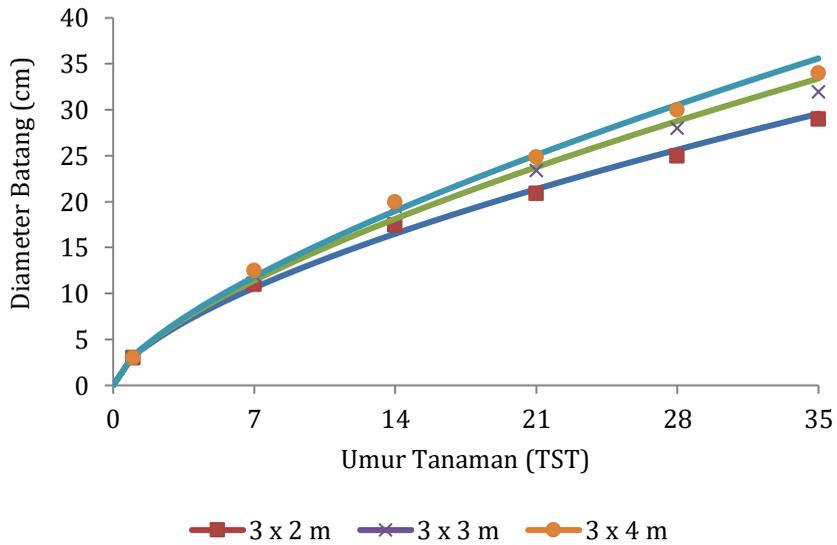
Cara untuk membuat kurva regresi eksponensial hubungan antara umur tanaman (X) dan diameter batang (Y) pada ketiga jarak tanam, dengan memasukan nilai X dari angka 0 hingga 35 (interval angka 7) ke persamaan eksponensial 1, 2, dan 3 di atas, maka akan diperoleh nilai Y' (*Y predicted*) pada masing-masing jarak tanam.

Untuk lebih jelasnya langkah-langkah untuk mendapatkan nilai Y', maka dilakukan langkah-langkah perhitungan seperti pada Tabel 2.28.

Tabel 2.28. Umur Tanaman, Nilai Y' (*Predicted*) dan Nilai Y (*Observed*) pada Jarak Tanam 3 × 2, 3 × 3, dan 3 × 4 m

| Umur Tanaman (X) | Jarak 3 × 2 m | | Jarak 3 × 3 m | | Jarak 3 × 4 m | |
|------------------|------------------------------|----------------------------|------------------------------|----------------------------|------------------------------|----------------------------|
| | Nilai Y' <i>Estimated</i> | Nilai Y <i>Observed</i> | Nilai Y' <i>Estimated</i> | Nilai Y <i>Observed</i> | Nilai Y' <i>Estimated</i> | Nilai Y <i>Observed</i> |
| 0 | 0,000 | | 0,000 | | 0,000 | |
| 1 | 3,079 | 3 | 3,115 | 3 | 3,112 | 3 |
| 2 | 4,786 | | 4,947 | | 5,004 | |
| 3 | 6,194 | | 6,484 | | 6,608 | |
| 4 | 7,439 | | 7,856 | | 8,048 | |
| 5 | 8,573 | | 9,117 | | 9,379 | |
| 6 | 9,628 | | 10,297 | | 10,627 | |
| 7 | 10,620 | 11 | 11,412 | 12 | 11,812 | 12,5 |
| 8 | 11,562 | | 12,476 | | 12,944 | |
| 9 | 12,462 | | 13,496 | | 14,032 | |
| 10 | 13,326 | | 14,479 | | 15,083 | |
| 11 | 14,159 | | 15,430 | | 16,101 | |
| 12 | 14,965 | | 16,353 | | 17,091 | |
| 13 | 15,746 | | 17,250 | | 18,055 | |
| 14 | 16,507 | 17,5 | 18,124 | 19,5 | 18,996 | 20 |
| 15 | 17,247 | | 18,978 | | 19,916 | |
| 16 | 17,970 | | 19,813 | | 20,816 | |
| 17 | 18,677 | | 20,631 | | 21,700 | |
| 18 | 19,369 | | 21,433 | | 22,567 | |
| 19 | 20,046 | | 22,221 | | 23,419 | |
| 20 | 20,711 | | 22,994 | | 24,257 | |
| 21 | 21,364 | 20,9 | 23,755 | 23,4 | 25,082 | 24,9 |
| 22 | 22,006 | | 24,504 | | 25,895 | |
| 23 | 22,638 | | 25,242 | | 26,696 | |
| 24 | 23,259 | | 25,969 | | 27,486 | |
| 25 | 23,871 | | 26,686 | | 28,266 | |
| 26 | 24,474 | | 27,394 | | 29,036 | |
| 27 | 25,069 | | 28,093 | | 29,797 | |
| 28 | 25,656 | 25 | 28,783 | 28 | 30,549 | 30 |
| 29 | 26,235 | | 29,465 | | 31,2933 | |
| 30 | 26,807 | | 30,139 | | 32,029 | |
| 31 | 27,372 | | 30,806 | | 32,757 | |
| 32 | 27,930 | | 31,465 | | 33,477 | |
| 33 | 28,483 | | 32,118 | | 34,191 | |
| 34 | 29,029 | | 32,764 | | 34,898 | |
| 35 | 29,569 | 29 | 33,404 | 32 | 35,598 | 34 |

Berdasarkan Tabel 2.28 di atas, maka dapat dibuat kurve pertumbuhan diameter batang pada ketiga jarak tanam yang diamati pada umur 1, 7, 14, 21, 28, dan 35 TST seperti pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4. Hubungan Umur Tanaman (HST) dan Diameter Batang Jati (cm) pada Berbagai Jarak Tanam

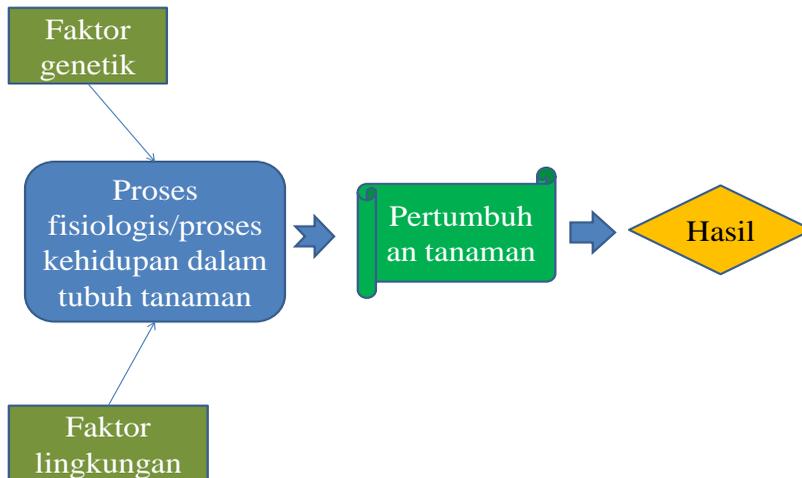
BAB 3

FAKTOR-FAKTOR YANG MEMPENGARUHI PERTUMBUHAN TANAMAN

3.1. Pendahuluan

Pertumbuhan tanaman sangat dipengaruhi oleh faktor luar yaitu faktor lingkungan. Adanya perbedaan faktor lingkungan akan mengakibatkan perbedaan pertumbuhan tanaman. Faktor lingkungan di berbagai belahan dunia ini berbeda-beda, sehingga jenis tanaman juga berbeda. Disamping itu keragaman penampilan tanaman dan respon terhadap lingkungan juga dipengaruhi dari faktor genetik tanaman itu sendiri.

Teory Klebs



Gambar 3.1. Hubungan Faktor Genetik dan Lingkungan terhadap Pertumbuhan Tanaman

Oleh sebab itu, ditunjukkan bahwa penampilan atau pertumbuhan tanaman dapat dinyatakan sebagai fungsi dari faktor lingkungan dan genetic yaitu $P = f(L, G)$. Keterangan: P = pertumbuhan tanaman, L = lingkungan (faktor luar), dan G = genetik (faktor dalam).

Terdapat tiga faktor yang mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tanaman, yaitu faktor interseluler (*hormone*), faktor intraseluler (*gen*), dan faktor luar (lingkungan). Pada Bab 3 ini akan dibahas mengenai pengaruh dari hormon dan faktor lingkungan terhadap pertumbuhan dan perkembangan tanaman.

3.2. Hormon (Faktor Interseluler)

Tanaman dapat menghasilkan beberapa jenis hormon, yaitu: auksin, giberellin (GA), gas etilen, sitokinin, dan asam absisat (ABA). Hormon tersebut diproduksi di dalam tubuh tanaman, tetapi dipengaruhi oleh kondisi eksternal (faktor luar).

3.2.1. Auksin

Hormon Auksin ditemukan oleh Fritz Went, seorang ahli fisiologi Belanda pada tahun 1928. Hormon ini dapat ditemukan pada ujung batang atau titik tumbuh batang (*koleoptil*) dan ujung akar (*koleoriza*). Hormon auksin dihasilkan oleh tanaman pada daerah meristem, seperti pada pucuk batang dan ujung akar. Auksin dapat pula dijumpai pada tunas, daun muda, bunga, maupun buah. IAA (*indole acetic acid*) merupakan hormon auksin yang paling dikenal dan strukturnya mirip dengan struktur asam amino triptofan. IAA disintesis di bagian meristem apikal, daun-daun muda, dan biji. Akan tetapi, aktivitas auksin dapat terhambat oleh sinar matahari jika intensitasnya berlebihan.

Fungsi auksin pada tanaman:

1. Dapat berperan pada pembelahan dan pemanjangan sel,
2. Dapat merangsang pembelahan sel-sel kambium lateral berguna untuk pertumbuhan sekunder,
3. Dapat meningkatkan perkembangan bunga dan buah,
4. Dapat merangsang pembentukan akar lateral,
5. Dapat menghasilkan buah tanpa biji,
6. Dapat menghambat pembentukan tunas lateral,
7. Dapat menghambat pematangan buah dan penuaan daun,
8. Dapat mencegah rontoknya bunga, buah, serta daun.

Hormon auksin memiliki peran merangsang dominansi apikal yaitu mendukung pertumbuhan kuncup apikal dengan cepat sehingga dapat menghambat pertumbuhan kuncup lateral yang ada di bagian bawahnya. Tingkatan dominansi kuncup apikal sangat bervariasi tergantung pada jenis tumbuhan.

Hormon auksin dapat dihasilkan oleh kuncup apikal yang sedang bertumbuh. Namun, aktivitas auksin dapat dihambat oleh adanya cahaya. Dimisalkan, apabila sebagian kuncup apikal diarahkan kepada cahaya matahari, maka akan terjadi pengangkutan auksin dari bagian yang terkena cahaya menuju ke bagian yang terlindung. Pada keadaan tersebut, auksin akan merangsang pertumbuhan sel-sel pada bagian yang terlindung dari cahaya matahari. Pada saat yang bersamaan, pertumbuhan sel-sel pada bagian yang terkena cahaya matahari akan terhambat akibatnya konsentrasi auksin yang rendah.

3.2.2. Giberellin Acid (GA)

Giberellin pertama kali ditemukan pada tahun 1926 oleh seorang ahli penyakit tanaman dari Jepang bernama E. Kurosawa. Hormon ini diisolasi dari jamur *Gibberella fujikuroi* yang merupakan parasit pada tanaman padi. Hormon GA terdapat banyak jenisnya pada bagian batang dan bunga. Jenis giberelin diantaranya adalah GA₃, GA₁, GA₄, GA₅, GA₁₉, GA₂₀, GA₃₇, dan GA₃₈. Giberellin diproduksi oleh jamur dan tumbuhan. Hormon giberellin dapat ditemukan hampir pada semua bagian tanaman, baik akar, batang, daun, bunga, dan buah.

Peranan hormon giberellin bagi tanaman, antara lain:

1. Merangsang pembelahan dan pemanjangan sel sehingga menyebabkan tanaman bertambah tinggi,
2. Merangsang pertumbuhan batang dan daun (memacu aktivitas pertumbuhan kambium),
3. Dapat menghilangkan sifat kerdil tanaman,
4. Pada konsentrasi tinggi, dapat merangsang pertumbuhan akar,
5. Dapat merangsang perkecambahan biji,
6. Merangsang pembentukan bunga dan buah sebelum waktunya,
7. Merangsang perkecambahan serbuk sari dan pertumbuhan buluh serbuk sari,
8. Menghambat pertumbuhan akar adventif,
9. Dapat mematahkan dormansi sebagian besar jenis biji,
10. Dapat menghasilkan buah yang tidak berbiji.

3.2.3. Gas Etilen

Gas etilen dihasilkan oleh ruas-ruas batang, buah yang matang, maupun jaringan yang telah mengalami penuaan. Gas etilen merupakan satu hormon tumbuhan yang berbentuk gas, tidak berwarna, dan berbau seperti eter.

Gas etilen mempunyai beberapa fungsi bagi tanaman. Interaksi antara gas etilen dengan auksin dapat memacu pemasakan buah, misalnya pada mangga dan nanas. Pada beberapa tumbuhan, interaksi antara gas etilen dan giberellin dapat mengatur perbandingan bunga jantan dan betina pada tanaman.

Fungsi utama gas etilen, yaitu:

1. Dapat merangsang pengguguran bunga,
2. Dapat mempercepat pemasakan buah,
3. Menghambat pertumbuhan akar dan batang pada saat tanaman terkena cekaman,
4. Dapat merangsang penuaan daun.

3.2.4. Sitokinin

Sitokinin merupakan hormon pertumbuhan yang terdapat pada tanaman. Hormon sitokinin ditemukan oleh ilmuwan Amerika bernama Folke Skoog pada tahun 1954. Ada beberapa jenis sitokinin yang telah diketahui, di antaranya kinetin, zeatin (pada jagung), dan benzil amino purin (BAP). Sitokinin dapat ditemukan hampir pada semua jaringan meristem.

Fungsi sitokinin yaitu:

1. Dapat merangsang aktivitas pembelahan sel tanaman,
2. Dapat membantu dalam perkecambahan biji,
3. Dapat merangsang pertumbuhan akar sehingga lebih cepat memanjang,
4. Dapat mempercepat pelebaran daun,
5. Dapat merangsang pertumbuhan tanaman ke arah samping dan pucuk tanaman,
6. Dapat menghambat proses penuaan daun.

3.2.5. Asam Absisat (ABA)

Berbeda dengan hormon lainnya, asam absisat mempunyai fungsi menghambat pertumbuhan. Senyawa ini ditemukan pada tahun 1963 oleh P.F. Wareing dan F.T. Addicott. ABA dihasilkan oleh daun, ujung akar, dan batang serta diedarkan oleh jaringan pengangkut. Biji dan buah juga mengandung ABA dalam jumlah tinggi, tetapi tidak diketahui ABA disintesis atau diedarkan ke biji dan buah. ABA disebut juga '*hormone stress*' karena memiliki sifat menghambat pertumbuhan tanaman.

Fungsi asam absisat (ABA) yaitu:

1. Dapat mempercepat proses penuaan utamanya pada daun,
2. Dapat mengurangi kecepatan pembelahan dan pemanjangan sel,
3. Dapat membantu pengguguran bunga dan daun,
4. Dapat mempertahankan proses dormansi biji dan kuncup,
5. Dapat merangsang penutupan stomata pada saat daun kekurangan air.

Ada beberapa aspek pertumbuhan dan perkembangan tanaman yang dipengaruhi oleh dua atau lebih hormon. Namun, hormon tanaman dapat saling berinteraksi untuk memperkuat pengaruh hormon lainnya yang disebut sinergisme. Contoh: hormon giberelin dan auksin dapat bersinergisme dalam proses pemanjangan batang.

Sebaliknya, pengaruh hormon tanaman dapat saling berlawanan yang disebut antagonisme. Contoh: sitokinin berantagonisme dengan auksin. Sitokinin merangsang pertumbuhan kuncup lateral, sedangkan auksin mempertahankan dominansi apikal kuncup terminal.

Gas etilen yang dihasilkan oleh daun merupakan pengatur pengguguran daun (absisi). Pada tahap awal absisi, auksin berantagonisme dengan gas etilen, tetapi selanjutnya auksin akan bersinergisme dengan kerja gas etilen.

3.3. Faktor Lingkungan (Faktor Eksternal)

Pertumbuhan dan perkembangan merupakan salah satu ciri dari makhluk hidup. Perkembangan merupakan suatu proses perubahan hormonal yaitu proses diferensiasi sel yang menghasilkan organ dengan fungsi yang berbeda-beda, sedangkan pertumbuhan merupakan suatu proses pertambahan jumlah sel yang tak terbalikan atau kembali. Kedua hal tersebut memiliki arti yang sangat penting bagi makhluk hidup. Pertumbuhan tanaman juga dipengaruhi oleh faktor lingkungan.

Pengaruh faktor lingkungan terhadap pertumbuhan dan perkembangan tanaman sangat besar terutama pada proses-proses fisiologi dalam tubuh tanaman. Faktor lingkungan yang berpengaruh terhadap tanaman, antara lain: unsur hara, suhu, cahaya, kelembaban (air), aerasi tanah, pH tanah, gas-gas di atmosfer atau di dalam tanah (karbondioksida, oksigen, nitrogen, sulfat, dan nitrogen oksida), hama dan penyakit, gulma, bahan organik tanah, mikroorganisme tanah, dan lainnya.

3.3.1. Unsur Hara

Unsur hara diperlukan tanaman untuk kelangsungan hidupnya sebagai sumber energi dan penyusun komponen-komponen sel bagi pertumbuhan dan perkembangan. Secara umum, unsur hara dapat dibedakan menjadi dua, yaitu unsur hara makro dan mikro.

Definisi unsur hara makro adalah unsur yang diperlukan tanaman dalam jumlah banyak, yaitu: karbon, hidrogen, oksigen, nitrogen, sulfur, fosfor, potasium (kalium), dan magnesium (C, H, O, N, S, P, K, S, Ca, dan Mg). Unsur hara mikro merupakan unsur hara yang diperlukan tanaman dalam jumlah sedikit, seperti: besi, tembaga, seng, mangan, kobalt, natrium, boron, klor, dan molybdenum (Fe, B, Mn, Cu, Zn, Mo, Cl, dan Ni).

Semua unsur hara tersebut di atas harus selalu tersedia, meskipun diperlukan hanya dalam jumlah sedikit. Apabila jumlah unsur hara tidak dapat tercukupi, maka tanaman akan mengalami defisiensi. Defisiensi suatu unsur hara akan menyebabkan pertumbuhan dan perkembangan tanaman terganggu.

Tanda-tanda atau gejala yang mungkin timbul akibat kekurangan (defisiensi) unsur hara yaitu:

1. Kekurangan nitrogen (N) menyebabkan tanaman tumbuh jelek dan berwarna hijau muda. Permukaan daun bagian bawah berwarna kuning atau cokelat muda dan batang pendek serta kurus.
2. Kekurangan potasium (K) menyebabkan tanaman memiliki tunas yang kecil dan ujung-ujung daun mudanya mati. Daun yang lebih tua memperlihatkan gejala klorosis dengan ujung pinggirnya mengering dan berwarna kecokelatan. Pada bagian pinggir daun biasanya terdapat banyak bercak cokelat.
3. Kekurangan fosfor (P) menyebabkan tanaman tumbuh jelek dengan daun berwarna hijau kebiruan. Bagian bawah daun kadang berwarna seperti karat dengan bercak ungu atau cokelat.
4. Kekurangan magnesium (Mg) akan menunjukkan gejala klorosis (daun tidak berwarna hijau karena kekurangan klorofil). Hal itu terjadi karena magnesium diperlukan untuk pembentukan klorofil.
5. Kekurangan besi (Fe) menyebabkan daun muda tanaman mengalami klorosis berat, tetapi tulang daun utamanya tetap hijau seperti biasa. Kadangkadang muncul bercak cokelat. Sebagian atau keseluruhan daun mungkin mati.
6. Kekurangan seng (Zn) menyebabkan terjadinya gejala klorosis antar pertulangan daun yang akhirnya menyebabkan nekrosis (jaringannya berwarna gelap) dan menghasilkan pigmentasi ungu. Jumlah daun sedikit dan bentuknya mengecil, ruas batang pendek, tunas berbentuk roset, serta produksi buah rendah. Daun gugur dengan cepat.

3.3.2. Cahaya

Cahaya matahari memiliki peran besar terhadap proses fotosintesis. Cahaya yang dibutuhkan tidak boleh terlalu berlebihan atau kekurangan karena justru akan menghambat pertumbuhan tanaman. Fotosintesis hanya dapat terjadi jika tersedia cukup cahaya matahari yang dibutuhkan tanaman. Hasil fotosintesis berupa glukosa ($C_6H_{12}O_6$) dan akan digunakan oleh tanaman sebagai sumber energi untuk pertumbuhan atau pembangun komponen-komponen sel.

Cahaya matahari juga dapat menghambat pertumbuhan tanaman, khususnya bagi tanaman yang masih muda. Hal tersebut terjadi karena cahaya menghambat hormon tertentu (auksin) yang berperan dalam merangsang pembelahan sel untuk pertumbuhan tanaman. Cahaya matahari berhubungan erat dengan kerja hormon auksin. Aktivitas hormon auksin dihambat oleh cahaya matahari. Pada kondisi tidak ada cahaya matahari, kerja auksin menjadi sangat optimal sehingga akan memacu pembelahan dan pemanjangan sel. Akibatnya, tanaman akan tumbuh sangat cepat, tetapi berdaun pucat (kuning) karena tidak dapat membentuk klorofil.

Tanaman tidak dapat menerima semua radiasi matahari, tanaman memerlukan intensitas cahaya dan panjang gelombang tertentu untuk berfotosintesis. Cahaya

tampak dengan panjang gelombang 400 sampai dengan 700 nm merupakan cahaya yang dapat diserap tanaman.

Cahaya matahari mempunyai panjang gelombang antara 400-750 nanometer (nm) yang terdiri atas beberapa macam warna cahaya, yaitu: violet (400-435), biru (435-490), hijau (490-574), kuning (574-595), orange (595-626), dan merah (626-750) nm. Cahaya dengan panjang gelombang tersebut disebut sebagai cahaya tampak/*visible light* atau *visible spectrum*. Di luar panjang gelombang tersebut terdapat *infra red* dan *ultra violet*.

Cahaya matahari sebagai sumber energi terutama untuk vegetasi mempunyai tiga faktor penting, yaitu intensitas cahaya, kualitas cahaya, dan fotoperiodisme. Di daerah tropis dengan intensitas cahaya yang tinggi menyebabkan foto-oksidasi lebih kecil dibandingkan di daerah sedang karena fotorespirasi cepat. Hal ini mengakibatkan sintesis protein kurang.

Kebutuhan tanaman terhadap intensitas cahaya matahari berbeda-beda tergantung dari jenis tanamannya. Tanaman C₃ dan C₄ memiliki kebutuhan intensitas cahaya yang berbeda. Kebutuhan intensitas cahaya, tanaman C₄ lebih tinggi dari pada C₃ karena disebabkan C₄ memiliki lebih banyak kloroplas yang terdapat pada seludang pembuluh (*bundle seat cell*).

Kualitas cahaya matahari berpengaruh berbeda terhadap proses-proses fisiologi tanaman. Tiap proses fisiologi di dalam respon terhadap kualitas cahaya juga berbeda-beda sehingga di dalam menganalisis komposisi cahaya untuk tiap-tiap proses fisiologi tersebut sangat sukar. Setiap jenis tanaman juga memiliki tanggapan yang berbeda-beda terhadap tiap kualitas cahaya.

Distribusi panjang gelombang dari pagi hingga sore hari berbeda-beda. Pada pagi hari kebanyakan panjang gelombang pendek dan semakin sore semakin berkurang, sebaliknya panjang gelombang panjang semakin bertambah. Oleh karena itu fotosintesis paling efektif setelah siang hari.

Tanaman memiliki tanggapan yang berbeda-beda terhadap lama penyinaran. Tanggapan tersebut dapat berupa pertumbuhan ataupun reproduksi. Tanggapan tanaman terhadap lama waktu terang (siang) dan gelap (malam) setiap harinya disebut fotoperiodisme.

Berdasarkan hal tersebut, maka tanaman dapat dibedakan menjadi empat kelompok yaitu tanaman hari pendek, tanaman hari panjang, tanaman hari sedang, dan tanaman hari netral. Masing-masing dapat dijelaskan sebagai berikut:

- Tanaman hari pendek adalah tanaman yang berbunga jika mendapatkan lama siang kurang dari 12 jam setiap harinya (stroberi).
- Tanaman hari panjang adalah tanaman yang berbunga jika mendapatkan lama siang lebih dari 12 jam setiap harinya (bayam).
- Tanaman hari netral adalah tanaman yang berbunga tidak bergantung pada lamanya siang setiap hari (mawar).

3.3.3. Suhu

Suhu mempengaruhi beberapa proses fisiologis penting dalam tubuh tanaman seperti aktivitas enzim, transpirasi, laju penyerapan air, dan nutrisi, fotosintesis, dan respirasi.

Suhu sangat berpengaruh terhadap aktivitas enzim dalam tubuh tanaman sehingga perannya sangat penting. Enzim merupakan senyawa protein yang dapat berperan sebagai katalisator dalam reaksi-reaksi kimia di dalam sel. Suhu optimal dapat mendukung kerja enzim secara optimal. Jika suhu meningkat melebihi suhu optimal, maka aktivitas enzim akan berkurang. Demikian juga jika suhu terlalu rendah, maka reaksi kimia di dalam sel tidak dapat berjalan dengan baik. Jika reaksi-reaksi kimia sel terganggu, maka pertumbuhan tanaman juga akan terganggu.

Pada proses transpirasi, peran suhu sangat jelas yaitu jika suhu meningkat, maka transpirasi juga akan meningkat sehingga tanaman akan kehilangan lebih banyak air. Kekurangan air dapat mengakibatkan pertumbuhan tanaman akan terganggu. Tanaman memiliki persyaratan suhu tertentu untuk dapat hidup secara normal.

Peningkatan suhu tanah dan iklim mikro di sekitar tanaman juga akan mempercepat kehilangan lengas tanah terutama pada musim kemarau. Pada musim kemarau, kenaikan suhu iklim mikro tanaman berpengaruh negatif terhadap pertumbuhan dan perkembangan tanaman, terutama untuk daerah yang lengas tanahnya terbatas. Temperatur terlalu tinggi dapat menyebabkan laju transpirasi meningkat, bahkan dapat melampaui penyerapan air oleh akar tanaman, selanjutnya akan mengakibatkan sel tanaman mengering dan akhirnya mati.

Suhu optimum sangat dibutuhkan oleh untuk dapat tumbuh dan berkembang. Sebagian besar tumbuhan memerlukan suhu sekitar 10-38 °C untuk pertumbuhannya. Suhu merupakan faktor penting bagi tumbuhan karena berhubungan dengan kemampuan fotosintesis, translokasi, respirasi, dan transpirasi.

3.3.4. Kelembaban

Kondisi tanah lembab sangat cocok untuk pertumbuhan tanaman, terutama dalam proses perkecambahan. Tanah yang lembab dapat menyediakan cukup air untuk mengaktifkan enzim dalam biji, dan melarutkan makanan dalam jaringan endosperm.

Kelembapan udara akan berpengaruh terhadap laju penguapan atau transpirasi. Jika kelembapan rendah, laju transpirasi meningkat sehingga penyerapan air dan zat-zat hara dan mineral juga meningkat. Hal itu akan meningkatkan ketersediaan unsur hara untuk pertumbuhan tanaman. Jika kelembapan tinggi, laju transpirasi rendah sehingga penyerapan unsur hara dan mineral juga rendah. Hal ini akan mengurangi ketersediaan unsur hara untuk pertumbuhan tanaman.

3.3.5. Oksigen

Oksigen diperlukan tanaman untuk metabolisme dalam tubuh. Salah satunya untuk proses perkecambahan biji. Sirkulasi udara dalam tanah berkaitan dengan kandungan oksigen. Jika tanah memiliki kandungan oksigen yang cukup, maka dapat dikatakan aerasinya baik. Ketersediaan oksigen di dalam tanah diperlukan oleh akar untuk melakukan respirasi. Respirasi akar berguna untuk perkembangan sel-sel akar dan untuk membantu penyerapan unsur hara dari dalam tanah. Jika aerasi tidak baik, maka respirasi akar terganggu sehingga menyebabkan pertumbuhan akar dan penyerapan nutrisi dalam tanah tidak baik.

3.3.6. Karbon dioksida

Tanaman memerlukan karbon dioksida (CO_2) sebagai bahan dasar (substrat) berlangsungnya fotosintesis. Dengan adanya ketersediaan karbon dioksida, air, dan cahaya matahari, maka proses fotosintesis akan berjalan baik. Pertumbuhan dan perkembangan tanaman sangat tergantung pada proses fotosintesis, karena dalam proses tersebut dihasilkan karbohidrat yang bermanfaat bagi pertumbuhan tanaman itu sendiri.

Karbon dioksida memegang peranan penting dalam proses fotosintesis, respirasi, dan transpirasi. Fotosintesis sebagai penghasil sumber energi bagi reaksi cahaya, dan fotolisis air menghasilkan daya asimilasi (ATP dan NADPH_2).

Setiap jenis tanaman memiliki respon yang berbeda-beda terhadap peningkatan konsentrasi CO_2 . Tanaman C_3 memiliki respon yang tinggi terhadap peningkatan karbon dioksida jika dibandingkan dengan C_4 . Hal tersebut disebabkan tanaman C_3 memiliki titik kompensasi lebih tinggi terhadap kebutuhan karbondioksida dibandingkan C_4 .

3.3.7. Bahan organik

Sifat-sifat fisik dan kimia tanah dapat ditentukan oleh kandungan bahan organik di dalam tanah. Bahan organik merupakan kerangka tubuh tanah yang sangat penting untuk menentukan sifat tanah. Penambahan humus ke dalam tanah berarti menambah bahan organik ke dalam tanah dan akan merubah keadaan sifat tanah dengan cepat. Peran bahan organik terhadap tanaman yaitu sebagai sumber makanan.

Sisa-sisa organ tanaman atau tumbuhan yang telah mati akan dikembalikan ke dalam tanah dan diubah menjadi humus, maka dalam proses mineralisasinya humus ini berupa ion dan kation yang bisa diserap langsung oleh akar tanaman. Pada tanah-tanah yang masih perawan, awalnya tanah sangat produktif. Namun setelah itu, produktivitasnya menurun akibat bahan organik berkurang. Siklus unsur hara akan terputus oleh karena pengangkutan hasil tanaman dari dalam tanah tersebut. Proses

ini akan berlangsung secara terus-menerus hingga tercipta keseimbangan baru serta terjadinya pada tingkatan rendah tergantung dari jumlah pengembalian unsur-unsur hara tersebut.

Pada kenyataan, tanaman pada proses pertumbuhannya banyak sekali menambahkan bahan-bahan ke dalam tanah dibandingkan bahan-bahan yang diambil dari tanah itu. Bahan-bahan ini akan dikembalikan ke dalam tanah terhadap semua mineral yang diambil dan dapat ditambahkan kembali bahan organik sejumlah kurang lebih sama dengan mineral yang terambil.

3.3.8. Air

Air merupakan komponen utama penyusun sel dalam tubuh tanaman yang berfungsi:

1. Untuk fotosintesis,
2. Mengaktifkan reaksi-reaksi enzim,
3. Membantu proses perkecambahan biji,
4. Menjaga kelembaban,
5. Untuk transpirasi,
6. Meningkatkan tekanan turgor sehingga merangsang pembelahan sel,
7. Menghilangkan asam absisi (ABA),
8. Sebagai pelarut.

Ketersediaan air di dalam tanah bagi tanaman dapat mempengaruhi kondisi tanaman. Jika jumlah air terlalu banyak sampai menimbulkan genangan, maka dapat menimbulkan cekaman aerasi bagi tanaman. Namun jika jumlahnya terlalu sedikit, maka akan menimbulkan cekaman kekeringan.

Kekurangan air (*water drought*) pada tanaman akan menyebabkan tekanan osmotik tinggi dan tekanan turgor menurun, akibatnya stomata menutup sehingga proses difusi CO₂ dari atmosfer ke dalam daun tanaman menurun dan menyebabkan proses fotosintesis menurun juga. Keadaan tersebut tidak menguntungkan untuk pertumbuhan dan perkembangan tanaman karena dapat menyebabkan tanaman layu dan mati.

BAB 4

ANALISIS PERTUMBUHAN VEGETATIF TANAMAN

4.1. Pendahuluan

Pertumbuhan vegetatif merupakan proses penting dalam siklus hidup setiap jenis tanaman. Pertumbuhan vegetatif dapat diukur dari indikator pertambahan volume, pertambahan bobot segar dan kering tanaman, bertambahnya jumlah, bentuk dan ukuran organ-organ vegetatif (daun, batang dan akar) yang dimulai dari terbentuknya daun pada proses perkecambahan hingga awal terbentuknya organ generatif.

Pertumbuhan vegetatif dibedakan menjadi pertumbuhan tanaman bagian atas tanaman (*shoot*) dan bagian bawah tanaman (*root*). Pertumbuhan bagian atas tanaman dapat diukur dari indikator pertumbuhan tinggi tanaman, diameter batang, jumlah dan luas daun, berat kering batang dan daun, jumlah buah, berat per buah, berat buah per tanaman, berat 100 biji, dan lainnya. Pertumbuhan bagian bawah tanaman (*root*) dapat diukur dari indikator pertumbuhan jumlah akar, panjang akar, luas akar, arsitektur akar, berat kering akar, jumlah umbi, berat per umbi, berat umbi per tanaman, dan lainnya.

Untuk mengetahui tingkat pertumbuhan tanaman dapat dilakukan analisis pertumbuhan tanaman. Analisis pertumbuhan tanaman dapat dilakukan meskipun tanpa alat yang canggih, dengan cara pendekatan yang lain. Proses fisiologis tanaman dapat dipelajari dengan analisis pertumbuhan. Analisis pertumbuhan tanaman meliputi macam pengamatan, cara pengamatan, pengukuran variabel pengamatan, dan hubungan antar variabel pengamatan.

4.2. Macam dan Cara Pengamatan Pertumbuhan

Pengamatan terhadap tanaman dibedakan menjadi dua yaitu pengamatan terhadap komponen pertumbuhan dan komponen hasil tanaman. Uraian dari komponen pertumbuhan tanaman dapat dijelaskan sebagai berikut, sedangkan uraian analisis pertumbuhan generatif dibahas pada Bab 5.

4.2.1. Presentase tanaman mati

Presentase tanaman mati yaitu jumlah tanaman yang mati (TM) dari pengamatan pada petak ubinan dibagi jumlah keseluruhan dari tanaman yang ditanam dikalikan 100%. Presentase tanaman mati (%) dihitung dengan rumus:

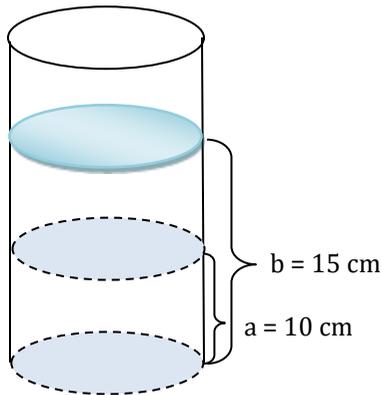
$$TM (\%) = \left(\frac{\text{Jumlah tanaman mati dalam petak ubinan}}{\text{Jumlah tanaman dalam satu petak ubinan}} \right) \times 100\%$$

Contoh:

Jumlah seluruh tanaman pada petak ubinan sebanyak 24 tanaman dan tanaman yang mati ada 6 tanaman, maka presentase tanaman mati (%) dalam petak ubinan yaitu = $6/24 \times 100\% = 25\%$.

4.2.2. Volume tanaman

Pengamatan terhadap volume tanaman hanya dapat dilakukan untuk tanaman yang berukuran kecil, karena hanya menggunakan alat gelas ukur (tanaman terpaksa harus dimatikan). Untuk tanaman yang berhabitus (berukuran) besar tidak mungkin dapat dilakukan pengamatan volume.



Tinggi air awal pada gelas ukur = a cm dan setelah tanaman dimasukkan menjadi b cm, maka volume tanaman adalah $b - a = t$ cm. Rumus volume = $3,14 \times r^2 \times t$, dimana: r = diameter gelas ukur dan t adalah pertambahan tinggi air pada gelas ukur setelah tanaman dimasukkan.

Gambar 4.1. Cara Mengukur Volume Tanaman

Contoh:

Diketahui Jari-jari gelas beker (r) = 5 cm, tinggi volume awal air (a) = 10 cm. Pertambahan tinggi volume setelah tanaman dimasukkan ke dalam gelas beker setinggi (b) = 15 cm. Hitunglah volume tanaman tersebut?

Jawab:

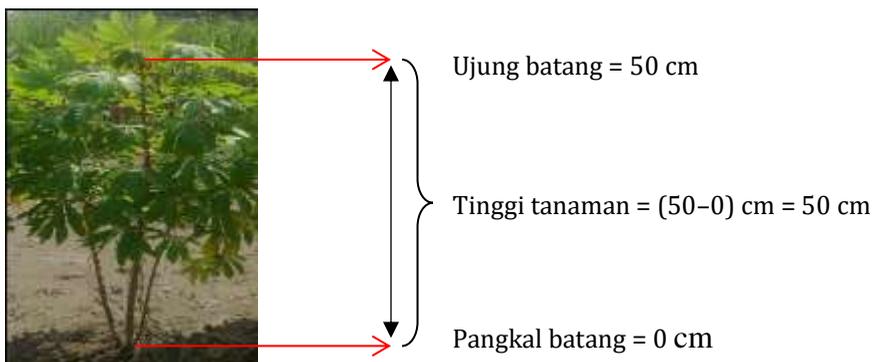
Pertambahan tinggi air pada gelas beker = $(b - a)$ cm = $(15 - 10)$ cm = 5 cm. Volume tanaman (cm^3): $3,14 \times (5 \text{ cm})^2 \times 5 \text{ cm} = 392,5 \text{ cm}^3$. Jadi volumenya sebesar $392,5 \text{ cm}^3$.

4.2.3. Tinggi tanaman

Salah satu indikator pertumbuhan tanaman adalah tinggi tanaman, meskipun bukan merupakan indikator utama. Pertambahan tinggi tanaman merupakan bentuk adanya peningkatan pembelahan dan pemanjangan sel dari adanya peningkatan hasil fotosintat.

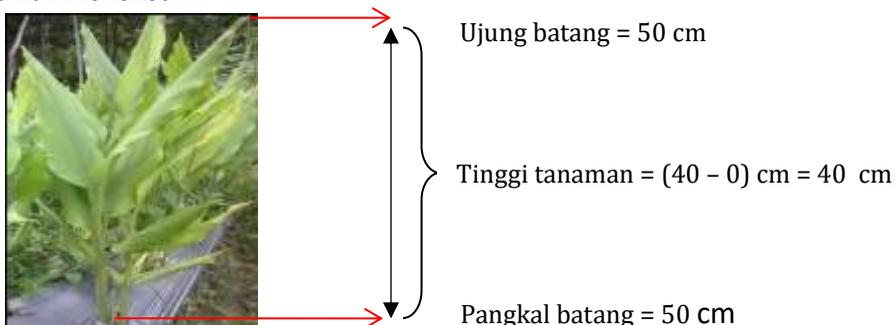
Tinggi tanaman diukur dari pangkal batang sampai dengan titik tumbuh pada pucuk batang. Untuk tanaman yang titik tumbuhnya terlindungi daun (dikotil), maka pengukuran dilakukan pada ujung yang terujung. Contoh: tanaman kedelai, ketela pohon, kakao, jeruk, dan lainnya. Untuk tanaman monokotil, tinggi tanaman diukur dari leher akar sampai dengan ujung daun terpanjang. Contoh: padi, jagung, gandum, dan lainnya.

Tanaman dikotil:



Gambar 4.2. Cara Mengukur Tinggi Tanaman Dikotil

Tanaman monokotil:



Gambar 4.3. Cara Mengukur Tinggi Tanaman Monokotil

4.2.4. Diameter batang

Diameter batang juga sebagai salah satu indikator yang menentukan pertumbuhan tanaman. Semakin besar diameter batang biasanya semakin tinggi tanaman. Hasil fotosintat sebagian dimanfaatkan untuk pembesaran diameter batang untuk menopang tajuk tanaman.

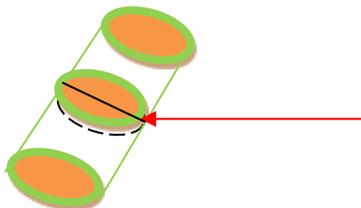
Pengukuran dilakukan di atas permukaan tanah, misal: setinggi 20 cm dari pangkal batang bagi tanaman yang berukuran agak besar (tanaman dikotil) seperti jeruk, kopi, kakao, karet dan lainnya. Untuk tanaman pangan (monokotil) misalnya jagung, gandum, padi, dan lainnya dapat diukur pada ketinggian 5 cm dari permukaan tanah.

Diameter batang tanaman untuk yang berukuran kecil dapat digunakan jangka sorong seperti pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4. Jangka Sorong

Pengukuran diameter batang:



Diameter batang (\emptyset) = $2 \times r$

Dimana:

r = Jari-jari batang

k = Keliling batang

Gambar 4.5. Cara Mengukur Diameter Batang Tanaman

Pengukuran digunakan jangka sorong untuk tanaman berukuran batang kecil. Tanaman berukuran batang besar digunakan meteran dengan dilingkarkan pada batang sehingga diperoleh keliling batang tanaman: $k = 2 \times 3,14 \times r$, maka diameter batangnya yaitu: $r = \frac{k}{2 \times 3,14}$

Contoh:

Jika diketahui keliling batang ketela pohon (k) diukur dengan meteran sebesar 10 cm, maka jari-jari batang tanaman tersebut yaitu: $(r) = \frac{10}{2 \times 3,14} = 1,59$ cm.

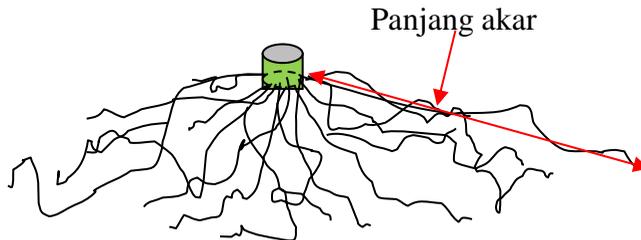
Jadi diameter batang tanaman ketela pohon dapat diketahui yaitu: $(\emptyset) = 2 \times 1,59$ cm = 3,18 cm

4.2.5. Panjang akar

Cara mengukur panjang akar (cm) pada tanaman monokotil dan dikotil berbeda. Tanaman dikotil berakar tunggang, maka panjang akar diukur dari pangkal akar sampai ujung akar dengan menggunakan meteran atau penggaris. Tanaman monokotil berakar serabut, maka panjang akar diukur dari pangkal akar sampai ujung akar terpanjang dengan alat meteran atau penggaris.

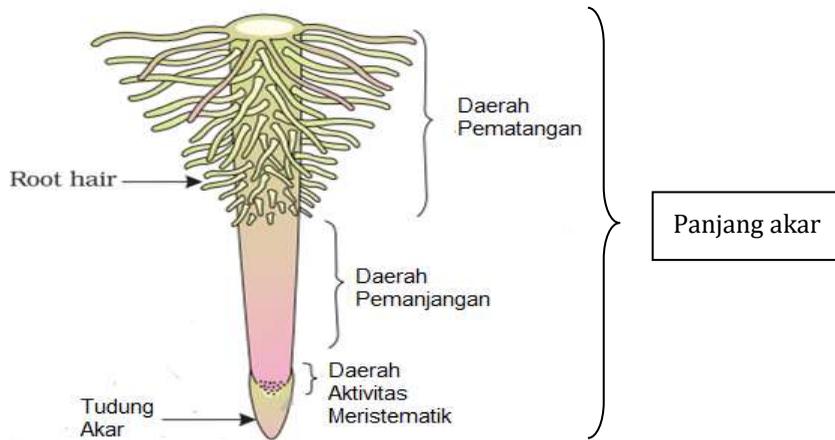
Berikut dijelaskan perbedaan cara mengukur panjang akar tanaman monokotil dan dikotil.

Akar monokotil:



Gambar 4.6. Cara Mengukur Panjang Akar Tanaman Monokotil

Berikut pada Gambar 4.7 merupakan akar tanaman dikotil, cara pengukuran panjang akar dilakukan pada akar tunggangnya.



Gambar 4.7. Cara Mengukur Panjang Akar Tanaman Dikotil
 Sumber: (Anonimous, 2022)

4.2.6. Luas daun

Proses fotosintesis terjadi pada bagian hijau daun. Luas daun merupakan organ tanaman berperan penting dalam menangkap cahaya matahari. Ukuran luas daun tanaman dapat menentukan seberapa besar kemampuan tanaman dalam menangkap radiasi cahaya matahari untuk fotosintesis. Karbohidrat yang dihasilkan, selanjutnya dapat digunakan untuk pertumbuhan dan perkembangan tanaman.

Indeks luas daun adalah nisbah antara luas permukaan daun dengan luas permukaan tanah yang dinaungi kanopi tanaman. Dihitung daun yang telah berkembang penuh. Tanaman yang tumbuh baik, tentunya akan membentuk jumlah daun yang banyak.

Biasanya mengukur luas daun dengan menentukan LAI (*leaf area index*) merupakan jumlah luas daun pada satu mahkota tanaman dibagi dengan luas tanah yang dibayangi oleh kanopi tanaman.

Mengapa luas daun menjadi ukuran pertumbuhan tanaman? Jumlah daun banyak atau semakin luas, maka pertumbuhan makin baik sebab daun alat untuk melakukan fotosintesis dan menghasilkan karbohidrat. Karbohidrat menentukan pertumbuhan dan hasil tanaman. Semakin banyak karbohidrat yang dihasilkan pertumbuhan tanaman semakin baik.

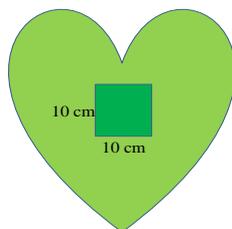
Cara untuk mengukur luas daun tanaman

a. Metode gravimetri

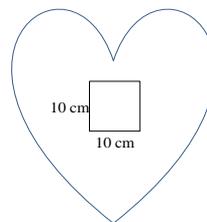
Semua daun dirompes, digambar di atas kertas, dipotong (potongan kertas berbentuk daun), selanjutnya ditimbang. Diambil satu sampel helai daun (potongan kertas berbentuk daun), kemudian daun (atau kertas) dipotong sebagian dengan ukuran 10×10 cm.

Luas daun dapat ditaksir melalui perbandingan berat (gravimetri) dilakukan dengan menggambar daun yang akan ditaksir luasnya pada sehelai kertas dan menghasilkan semacam tiruan daun. Tiruan daun kemudian digunting dari kertas yang berat dan luasnya sudah diketahui. Luas daun dapat ditaksir berdasarkan perbandingan berat tiruan daun dengan berat total kertas dikalikan dengan luas kertas (Junin, 2005).

Bobot kering daun (atau kertas) total = a gram dan bobot kering potongan daun (atau kertas) 10×10 cm = b gram, maka: luas daun total = $\frac{a}{b} \times 100$ cm² atau daun
luas daun = $\frac{\text{Luas standar}}{\text{Bobot standar}} \times \text{bobot gambar}$. Berikut contoh gambar daun dan potongan kertas membentuk tiruan daun.



Menggunakan daun



Menggunakan potongan kertas

Gambar 4.8. Cara Mengukur Luas Daun dengan Metode Gravimetri

Contoh:

1. Pengukuran luas daun dengan menggunakan daun.

Jika diketahui bobot kering 1 helai daun yaitu 10 g. Bobot kering potongan daun ukuran 10×10 cm adalah 1,5 g, maka luas 1 helai daun sebenarnya = $\frac{10 \text{ g}}{1,5 \text{ g}} \times 100$ cm² = 66,7 cm².

2. Pengukuran dengan potongan kertas berbentuk daun.

Jika diketahui potongan kertas berbentuk daun 20 g. Bobot potongan kertas 10×10 cm dari potongan berbentuk daun adalah 3 g, maka luas 1 daun sebenarnya = $\frac{21 \text{ g}}{3,2 \text{ g}} \times 100 \text{ cm}^2 = 65,6 \text{ cm}^2$.

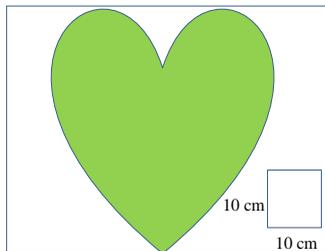
b. Metode plong

Semua daun dirompes, ditimbang bobot segar, diambil sebagian daun diplong. Caranya hanya mengambil satu helai daun (prinsip sama).

$$\text{Luas daun} = \frac{\text{Luas plong}}{\text{Bobot plong}} \times \text{bobot gambar}$$

Syarat kertas, berikut:

- (1). Kertas harus mempunyai ketebalan yg sama,
- (2). Daun dirapatkan di atas kertas, ada daun yg bergelombang ditekan,
- (3). Kemudian daun digambar (diblat) di atas kertas dan kertas dipotong.



Gambar 4.9. Cara Mengukur Luas Daun dengan Metode Plong

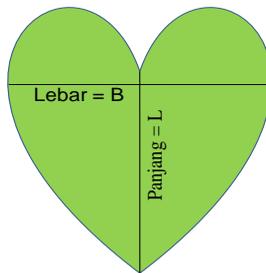
Dimisalkan bobot kertas yg dibayangi daun = p gram dan bobot kertas ($10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$) = q gram, maka: luas daun total = $\frac{p}{q} \times 100 \text{ cm}^2$.

Contoh:

Diketahui bobot kertas yang dibayangi daun = 15 g. Bobot kertas ukuran (10×10) cm = 2,2 g, maka luas 1 helai daun yaitu $\frac{15 \text{ g}}{2,2 \text{ g}} \times 100 \text{ cm}^2 = 68,2 \text{ cm}^2$

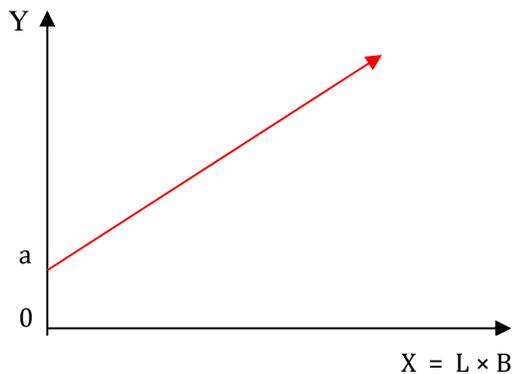
c. Rumus luas daun

Luas daun diukur berdasarkan hasil perkalian antara bagian daun terpanjang dan terlebar. Dasarnya apabila hubungan antara hasil perkalian $L \times B$ dengan luas daun bersifat linier maka persamaan garis regresi dari perkalian $L \times B$ merupakan persamaan garis lurus.



Gambar 4.10. Cara Mengukur Luas Daun dengan Panjang \times Lebar

Persamaan umum dari regresi linier sederhana, yaitu: $Y = a + b X$



a = Letak garis potong pada ordinat pada $X = 0$,
 b = Menunjukkan kemiringan, makin besar b maka garis semakin tegak

Untuk menentukan luas daun harus menentukan persamaan garis regresi linier lebih dahulu.

Cara menentukan persamaan regresi yaitu:

- Diambil sampel 10 daun muda yang sudah berkembang penuh.
- Kemudian diukur panjang (L) dan lebar (B) dengan penggaris
- Serta diukur luas daun riil dengan leaf area meter atau alat pengukur lainnya.
- Setelah dilakukan pengukuran, maka nilai pengukuran dapat dimasukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Perhitungan Luas Daun dari Alat dan Perkalian Panjang × Lebar

| Sampel daun N | Luas daun riil Y | Panjang x lebar daun X | | | XY | X ² |
|------------------|---------------------|---------------------------|-----------------|-------|-----|-----------------|
| | | Panjang daun L | Lebar daun B | P x B | | |
| 1 | 30 cm ² | 6 | 4 | 24 | 720 | 24 ² |
| 2 | | | | | | |
| 3 | | | | | | |
| 4 | | | | | | |
| · | | | | | | |
| · | | | | | | |
| · | | | | | | |
| · | | | | | | |
| 10 | | | | | | |
| N = 10 | | ΣY | ΣX | | | |

Persamaan Regresi:

$$\begin{aligned} \text{I: } \quad \Sigma Y &= na + b \Sigma X \\ \text{II: } \quad \Sigma XY &= a \Sigma X + b \Sigma X^2 \end{aligned}$$

Berikut langkah-langkah untuk menentukan rumus luas daun tanaman mangga Gadung:

1. Mengambil 10 sampel (minimal) daun mangga Gadung secara acak dalam kanopi tanaman
2. 10 daun masing-masing diukur panjang (L cm) dan lebarnya (B cm) dengan penggaris, sedangkan luas daun yang riil diukur dengan alat *leaf area meter* (Y cm²)
3. Hasil perkalian panjang (L cm) × lebar (B cm) dianggap X cm²

Perhitungan mendapatkan nilai a dan b selanjutnya dapat dijelaskan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2. Penentuan Rumus Luas Daun pada Tanaman Mangga Gadung

| Sampel Daun | Luas Daun riil (Y) | Panjang × Lebar daun (X) | | | XY | X ² |
|-------------|--------------------|--------------------------|-----------|--------|---------|-----------------|
| | | Panjang (L) | Lebar (B) | L × B | | |
| 1 | 38,8 | 12,0 | 4,4 | 52,80 | 2048,6 | 2787,8 |
| 2 | 38,9 | 11,2 | 4,6 | 51,52 | 2004,1 | 2654,3 |
| 3 | 38,6 | 11,8 | 4,8 | 56,64 | 2186,3 | 3208,1 |
| 4 | 42,6 | 12,3 | 4,7 | 57,81 | 2462,7 | 3342,0 |
| 5 | 29,7 | 9,5 | 3,9 | 37,05 | 1100,4 | 1372,7 |
| 6 | 33,4 | 10,1 | 4,6 | 46,46 | 1551,8 | 2158,5 |
| 7 | 51,6 | 12,0 | 5,5 | 66,00 | 3405,6 | 4356,0 |
| 8 | 38,0 | 11,9 | 4,4 | 52,36 | 1989,7 | 2741,6 |
| 9 | 28,1 | 9,3 | 3,6 | 33,48 | 940,8 | 1120,9 |
| 10 | 53,0 | 13,4 | 5,3 | 71,02 | 3764,1 | 5043,8 |
| Σn | ΣY | | | ΣX | ΣXY | ΣX ² |
| 10 | 392,7 | | | 525,14 | 21454,1 | 28785,8 |

Persamaan umum:

1. $\sum Y = n a + b \sum X$
2. $\sum XY = a \sum X + b \sum X^2$

Hasil perhitungan pada Tabel 3.2 disubstitusikan ke persamaan 1 dan 2 sehingga menghasilkan persamaan berikut:

3. $[392,7 = (10 \times a) + (b \times 525,14)]$
4. $[21454,05 = (525,14 \times a) + (b \times 28785,79)]$

Selanjutnya untuk dapat menghitung salah satu nilai a atau b. Dimisalkan nilai a yang di nolkan, maka persamaan 3 dikalikan 525,14 dan persamaan 4 dikalikan 10, maka persamaan menjadi:

5. $[392,7 = (10 \times a) + (b \times 525,14)] \rightarrow \times 525,14$
6. $[21454,05 = (525,14 \times a) + (b \times 28785,79)] \rightarrow \times 10$

Setelah masing-masing persamaan dikalikan dengan pengalinya, maka menjadi:

$$7. \quad 206222,48 = (5251,4 \times a) + (b \times 275772,0)$$

$$8. \quad 214540,55 = (5251,4 \times a) + (b \times 287857,9)$$

Persamaan 7 dikurangi persamaan 8, maka menjadi:

$$9. \quad -8318,072 = (0 \times a) + (b \times -12085,9)$$

Dari persamaan 9 di atas dapat disederhanakan, maka persamaan menjadi:

$$-8318,072 = -12085,9 b$$

Selanjutnya nilai b dapat diketahui sebagai berikut:

$$b = \frac{-8318,072}{-12085,9}$$

$$b = 0,68824$$

Maka Nilai b di atas disubstitusikan ke persamaan 3 untuk mendapatkan nilai a.

$$392,7 = (10 \times a) + (b \times 525,14)$$

$$392,7 = 10 a + 361,4259$$

$$10 a = 31,274$$

$$a = 3,1274$$

Berdasarkan proses perhitungan di atas, maka diperoleh persamaan regresi linier sederhana untuk rumus luas daun mangga Gadung secara umum, yaitu: $Y = 3,1241 + 0,68824 X$.

Dengan menggunakan rumus luas daun tersebut, maka luas daun dalam satu tanaman dapat dihitung dengan cara mengukur panjang lebar daun disubstitusikan ke persamaan: $Y = 3,1241 + 0,68824 X$.

Contoh:

Bibit mangga Gadung mempunyai 4 helai daun, selanjutnya masing-masing helai daun diukur panjang dan lebarnya. Hasil pengukuran panjang x lebar dari setiap helai daun disubstitusikan ke persamaan: $Y = 3,1241 + 0,68824 X$. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3. Luas Daun Satu Bibit Tanaman Mangga Gadung

| Nomer daun ke | Panjang (L) (cm) | Lebar (B) (cm) | $(L \times B) \text{ cm}^2 = X \text{ (cm}^2\text{)}$ | Luas daun: $Y = 3,1241 + 0,68824 X \text{ (cm}^2\text{)}$ |
|--------------------|------------------|----------------|---|--|
| 1 | 12 | 5 | 60 | 44,4 |
| 2 | 13 | 4,6 | 59,8 | 44,3 |
| 3 | 10 | 4,1 | 41 | 31,3 |
| 4 | 15 | 5,2 | 78 | 56,8 |
| Jumlah luas daun = | | | | 176,8 |

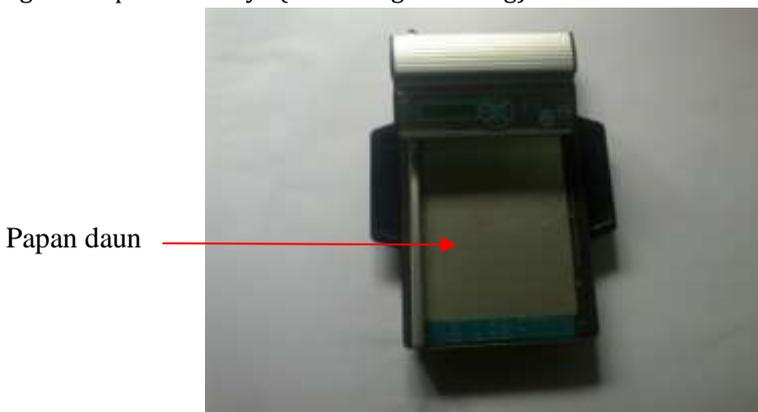
Hasil pengukuran dengan rumus luas daun, maka diketahui total luas daun bibit mangga Gadung sebesar 176,8 cm².

d. Kertas milimeter

Dibuat kotak-kotak kecil berukuran misalnya 0,5 × 0,5 cm pada plastik transparan. Setelah selesai pembuatan kotak-kotak pada plastik, selanjutnya masing-masing daun diletakkan di bawah plastik, kemudian dihitung berapa jumlah kotak-kotak yang tertutup oleh daun, maka luas daun dapat dihitung atau diperkirakan. Cara ini sangat sederhana, namun sangat sulit saat perhitungannya.

e. Leaf area meter

Semua daun dalam satu tanaman dirompes. Kemudian diletakkan di atas papan secukupnya dan tidak saling menutup. Kemudian daun ditekan dengan penutup mika agar rata permuaannya (tidak bergelombang).



Gambar 4.11. Alat Pengukur Luas daun *Leaf Area Meter*

Selanjutnya alat *leaf area meter* dihidupkan dengan cara ditekan tombol start (mulai) dan alat sensor di atas daun dijalankan pada relnya dengan tangan di atas papan, maka luas daun yang ditempatkan di atas papan tersebut dapat dibaca total luasnya. Selanjutnya dapat dilakukan dengan cara yang sama pada pengukuran luas daun berikutnya hingga semua daun dalam satu tanaman dapat diukur.

f. Canopy analyzer

Cara penggunaannya yaitu alat ini diletakkan di bawah tajuk tanaman. Selanjutnya indeks luas daun (ILD) otomatis dapat dibaca pada alat. Alat ini lebih canggih, hanya harganya cukup mahal.

4.2.7. Klorofil Daun

Kadar klorofil daun tanaman (mg klorofil/g bobot segar daun) diukur dengan metode Wintermans dan Demonts (1965) menggunakan alat *spectrophotometer*.



Gambar 4.12. Alat Pengukur Kadar Klorofil Daun *Spectrophotometer*

Pengukuran dengan menimbang 1 g daun segar, kemudian dihancurkan dalam mortar hingga halus dan dimasukkan 20 ml aseton 80% tumbuk kembali hingga lumat. Bahan disaring dengan kertas filter ke dalam beker glas. Selanjutnya dimasukkan ke dalam tabung reaksi dan digojog dengan stiler. Diambil larutan tersebut dengan pipet dimasukkan ke dalam cuvet sampai batas garis batas. Satu buah cuvet diisi dengan aseton murni untuk membuat standar. Dengan bahan yang telah ada diamati dan dicatat nilai absorbannya.

Pengamatan diperlukan *spektrophotometer* dengan panjang gelombang 645 dan 663 nm. (A_{663} dan A_{645} = absorbansi pada panjang gelombang 645 dan 663) (Anonim,

2013). Setelah didapatkan nilai absorbannya, maka dapat dihitung klorofil a dan b dengan rumus:

$$\text{Klorofil a} = (12,7 \times A663) - (2,69 \times A645) \times \left(\frac{20 \text{ ml aseton}}{1000 \times 1 \text{ g daun}} \right)$$

$$\text{Klorofil b} = (22,9 \times A645) - (4,68 \times A663) \times \left(\frac{20 \text{ ml aseton}}{1000 \times 1 \text{ g daun}} \right)$$

Contoh: Diketahui jika 1 g daun segar diekstrak dan telah disaring kertas filter dimasukan ke dalam tabung reaksi dan digojog dibutuhkan: nilai absorbansi A663 = 1,315 dan nilai absorbansi A645 = 1,780. Kadar klorofil a = $(12,7 \times 1,780) - (2,69 \times 1,315) \times 0,02 = 0,381 \text{ mg/g daun}$ dan klorofil b = $(22,9 \times 1,315) - (4,68 \times 1,780) \times 0,02 = 0,436 \text{ mg/g daun}$. Jadi jumlah klorofil 1 g daun yaitu $0,381 + 0,436 = 0,817 \text{ mg/g daun}$

4.2.8. Bobot kering tanaman

Bobot kering tanaman dapat digunakan sebagai indikator berlangsungnya pertumbuhan tanaman yang merupakan hasil proses fotosintesis yang ditranslokasikan dan ditimbun pada bagian tajuk (batang dan daun) maupun akar tanaman selama pertumbuhan.

Berikut alat yang dapat digunakan untuk menghitung bobot kering tanaman dengan ketelitian hingga dua desimal. Alat ini dapat digunakan untuk menimbang bobot kering maksimal 500 g.



Gambar 4.13. Alat Timbangan Digital

Peningkatan bobot kering tanaman selama pertumbuhan berlangsung menunjukkan bahwa terjadinya pertumbuhan. Untuk mengukur bobot kering tanaman, maka tanaman harus dimatikan (harus dioven), artinya kita tidak bisa mengikuti pertumbuhan individu yang sama secara periodik. Sampel tanaman diambil dari tanaman yang berbeda, tetapi dari petak tanaman yang sama.

a. Cara mengukur bobot kering tanaman (cara sampel)

Prinsip kerja cara mengukur bobot kering tanaman

1. Bahan segar dibagi menurut jenis organ: daun, batang, akar (bila mungkin), buah, biji, kulit biji dan lainnya, bila terlalu banyak di sub-sampel.
2. Bahan segar di jemur sampai kering matahari.
3. Setelah bobot kering matahari, selanjutnya dioven pada suhu 65-85 °C sampai bobot tetap (konstan), selama kurang lebih 48 jam.
4. Ditimbang dengan timbangan digital dengan ketelitian 2 (dua) angka dibelakang koma dalam satuan gram (g).

b. Cara mengukur bobot kering tanaman (cara sub-sampel)

jika pengukuran dilakukan pada ukuran petak (2×2) m² pada penelitian beberapa ulangan. Dengan langkah-langkahnya, yaitu:

1. Setiap petak pengamatan ditimbang bobot segar tanaman keseluruhan, misal bobot: 10 kg (dianggap sebagai a).
2. Kita tidak harus mengoven semua tanaman dari petak pengamatan, tetapi kita cukup mengambil 10% dari 10 kg (bobot keseluruhan) yaitu sebesar 1 kg (dianggap sebagai b),
3. Bobot 10% atau 1 kg ini yang akan dimasukan ke dalam oven (harus dipotong-potong, batang dibelah). Selanjutnya suhu dalam oven diatur sampai bobot kering tanaman menjadi konstan (bobot tidak berubah lagi), misal bobot kering tanaman konstan menjadi c kg (dianggap sebagai c),
4. Bobot kering tanaman dalam satu petak pengamatan 2×2 m² tersebut (dianggap sebagai d), maka dapat dihitung dengan rumus:

$$\text{Bobot kering tanaman} = \frac{a \text{ kg}}{b \text{ kg}} \times c \text{ kg} = d \text{ kg}$$

Keterangan:

- a = Bobot segar tanaman total dari petak 2×2 m²
- b = Bobot segar tanaman sebesar 10% dari a
- c = Bobot kering tanaman dari b
- d = Bobot kering tanaman total dari petak 2×2 m²

Contoh:

Diketahui bobot segar tanaman total sebesar 10 kg dari lahan ukuran $2 \times 2 \text{ m}^2$. Selanjutnya diambil 10% dari bobot tersebut misalnya 1 kg. Sampel 1 kg bobot tanaman segar dioven hingga kering konstan diperoleh bobot kering sebesar 0,2 kg.

Bobot kering tanaman total dari lahan ukuran $2 \times 2 \text{ m}^2 = \frac{10 \text{ kg}}{1 \text{ kg}} \times 0,2 \text{ kg} = 2 \text{ kg}$.

Sedangkan untuk menghitung bobot kering tanaman dalam 1 hektar, jika diketahui bobot kering tanaman sebesar 2 kg dari luas lahan $2,2 \text{ m}^2$ dapat digunakan cara berikut:

$$\rightarrow \frac{2 \text{ kg}}{2,2 \text{ m}^2} = \frac{X \text{ kg}}{10.000 \text{ m}^2} \rightarrow X \text{ kg} = \frac{2 \text{ kg} \times 10.000 \text{ m}^2}{2,2 \text{ m}^2} = 9.090,9 \text{ kg}$$

4.4. Cara pengamatan pertumbuhan secara periodik

Berikut ini akan dijelaskan cara mengukur pertumbuhan tanaman secara periodik atau pengambilan sampel tanaman secara bertahap yang harus dimatikan (*disturbance*).

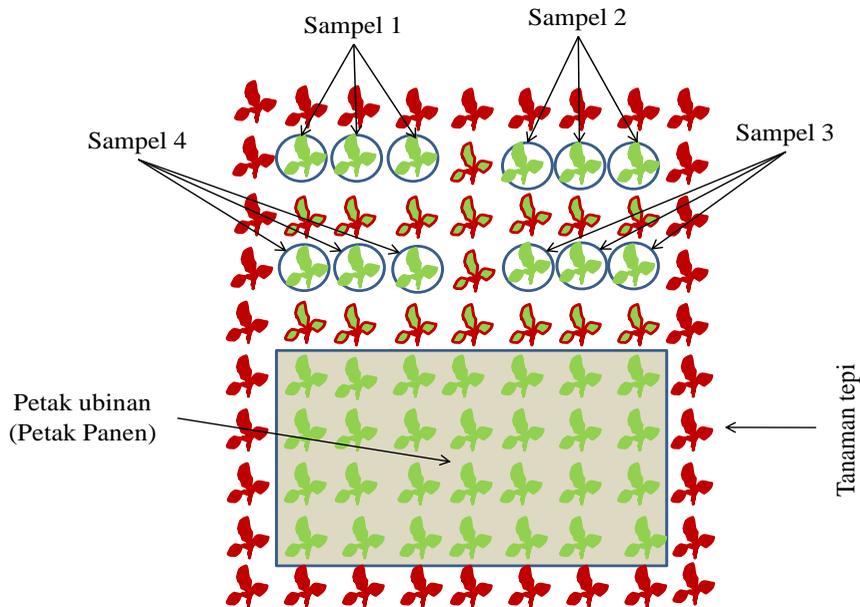
4.4.1. Tanaman semusim

Waktu dapat dilakukan secara berkala (periodik) 1-2 minggu sekali, bila terbatas tanamannya dapat dilakukan ± 5 kali saat pertumbuhan tanaman bersifat linier, dan 1 kali saat panen (konstan). Jumlah antara 2-4 tanaman tiap pengambilan sampel (tanaman yang dikorbankan). Syarat sampel tanaman tidak menggunakan tanaman tepi (border plant).

Cara pengamatan untuk tanaman semusim yang ditanam pada petak yang cukup luas.

a. Tanaman kacang tanah, padi, kedelai dan sejenisnya

Untuk lebih jelasnya, cara pengamatan tanaman semusim dapat dilakukan secara bertahap (periodik). Untuk lebih jelasnya pengamatan secara periodik dapat dilihat pada Gambar 3.15 berikut.

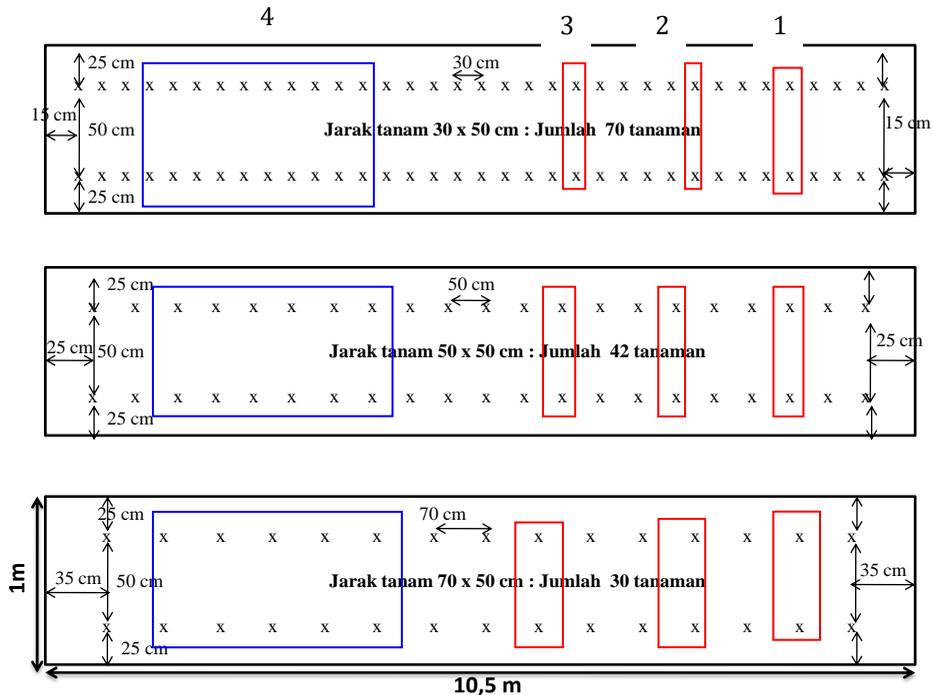


Gambar 4.14. Cara Pengamatan Tanaman Sampel pada Petak Ubinan

Dimisalkan, pengamatan pada tanaman kacang tanah dilakukan secara periodik dengan interval waktu dua minggu sekali. Pengamatan secara periodik dilakukan dengan cara mencabut tanaman sampel (dikorbankan). Pengamatan pertama dilakukan terhadap tiga tanaman (sampel 1) saat berumur 2 minggu setelah tanam (MST). Pengamatan kedua dilakukan pada tiga tanaman (sampel 2) saat berumur 4 MST. Pengamatan ketiga dilakukan terhadap tiga tanaman (sampel 3) saat berumur 6 MST dan pengamatan keempat dilakukan terhadap 3 tanaman (sampel 4) saat berumur 8 MST.

b. Tanaman cabai

Ukuran petak perlakuan dan petak ubinan pada masing-masing jarak tanam ditunjukkan pada Gambar 4.16.



Gambar 4.15. Cara Pengamatan Tanaman Sampel dan Petak Ubinan

Cara pengamatan untuk tanaman semusim (cabai) yang ditanam pada petak (bedengan) perlakuan hanya dengan dua baris tanam. Waktu pengamatan secara berkala (periodik) yaitu 3 minggu sekali, dilakukan sebanyak 4 kali yaitu 3 kali saat pertumbuhan tanaman bersifat linier dan 1 kali saat generatif (konstan). Tiap sampel diambil 2 tanaman.

Tanaman tepi (*border plant*) tidak ada. Kotak kecil adalah petak untuk pengambilan petak 1, (3 MST) petak 2 (6 MST), dan petak 3 (9 MST), sedangkan petak besar nomor 4 merupakan petak ubinan (petak panen).

Luas petak ubinan (kotak warna biru) untuk Jarak tanam:

- $50 \times 30 \text{ cm} = 3,6 \text{ m}$ ($30 \text{ cm} \times 12 \text{ tanaman}$) $\times 1 \text{ m} = 3,6 \text{ m}^2 = 24 \text{ tanaman}$
- $50 \times 50 \text{ cm} = 3,5 \text{ m}$ ($50 \text{ cm} \times 7 \text{ tanaman}$) $\times 1 \text{ m} = 3,5 \text{ m}^2 = 14 \text{ tanaman}$
- $50 \times 70 \text{ cm} = 3,5 \text{ m}$ ($70 \text{ cm} \times 5 \text{ tanaman}$) $\times 1 \text{ m} = 3,5 \text{ m}^2 = 10 \text{ tanaman}$
- Kotak warna merah dengan nomor 1, 2, 3 adalah tanaman korban pada pengamatan umur tanaman cabai 21, 42, dan 63 HST.

- o Kotak warna biru dengan nomor 4 adalah petak ubinan untuk akhir pengamatan umur tanaman cabai 105 HST.

4.4.2. Tanaman tahunan

Pengamatan terhadap tanaman tahunan cukup sulit karena umurnya panjang dan bobot tanaman besar. Pengamatan langsung destruktif dengan jumlah sampel sedikit, maka dapat menggunakan tanaman yang akan dibongkar. Pengamatan tidak langsung dengan mencari hubungan antar bagian, luas daun dengan tebal pelepah daun kelapa sawit. Hal tersebut jarang dilakukan pengamatan padahal penting. Pengamatan yang pernah dilakukan yaitu pada tanaman kelapa, teh, kopi, dan kakao.

4.5. Analisis Pertumbuhan Tanaman

Biasanya pengamatan dilakukan secara bertahap dengan interval waktu pengamatan yang sama. Pengamatan dilakukan terhadap sampel tanaman yang dikorbankan (*disturbance*). Cara perhitungan terhadap komponen pertumbuhan tanaman tersebut, diantaranya yaitu:

4.4.1. Indeks luas daun (ILD)

Indeks luas daun (ILD) dengan membandingkan luas daun tanaman korban (cm²) dibagi luas lahan dalam jarak tanam (cm²).

Luas daun diukur dengan menggunakan *automatic leaf area meter* pada daun tanaman yang telah membuka penuh. ILD dihitung menurut Gardner *et al.* (1985) dengan rumus:

$$ILD = \frac{La}{Ga}$$

Keterangan:

ILD = Indeks luas daun,

La = Luas daun sampel pada waktu tertentu (cm²),

Ga = Luas lahan dalam jarak tanam (cm²).

4.4.2. Bobot daun khas (BDK)

Bobot daun khas (BDK) atau *specific leaf weight* (SLW) adalah bobot daun tiap satuan luas daun, menggambarkan ketebalan daun (g/cm²) dengan rumus:

$$BDK = \frac{\text{Bobot kering daun (g)}}{\text{Luas daun (cm}^2\text{)}}$$

Keterangan:

Bobot kering daun dan luas daun dihitung dari sampel tanaman korban.

4.4.3. Laju asimilasi bersih (LAB)

Laju asimilasi bersih (LAB) atau *net assimilation rate* (NAR) adalah kemampuan tanaman menghasilkan bahan kering hasil asimilasi tiap satuan luas daun tiap satuan waktu ($\text{g}/\text{dm}^2/\text{minggu}$) dengan rumus:

$$\text{LAB} = \frac{W_2 - W_1}{T_2 - T_1} \times \frac{\ln \text{La}_2 - \ln \text{La}_1}{\text{La}_2 - \text{La}_1}$$

Keterangan:

LAB = Laju asimilasi bersih ($\text{g}/\text{dm}^2/\text{minggu}$),

W_1 = Bobot kering tanaman pada pengamatan pertama (g),

W_2 = Bobot kering tanaman pada pengamatan kedua (g),

La_1 = Luas daun pengamatan pertama (dm^2),

La_2 = Luas daun pengamatan kedua (dm^2),

T_1 = Waktu pengamatan pertama (minggu),

T_2 = Waktu pengamatan kedua (minggu).

4.4.4. Laju pertumbuhan tanaman (LPT)

Laju pertumbuhan tanaman (LPT) atau *crop growth rate* (CGR) adalah kemampuan tanaman menghasilkan bahan kering hasil fotosintesis tiap satuan luas lahan tiap satuan waktu tertentu yang pendek ($\text{g}/\text{m}^2/\text{minggu}$) dengan rumus:

$$\text{LPT} = \frac{1}{G_a} \times \frac{W_2 - W_1}{T_2 - T_1}$$

Keterangan:

LPT = Laju pertumbuhan tanaman ($\text{g}/\text{m}^2/\text{minggu}$),

W_1 = Bobot kering tanaman pada pengamatan pertama (g),

W_2 = Bobot kering tanaman pada pengamatan kedua (g),

T_1 = Waktu pengamatan pertama (minggu),

T_2 = Waktu pengamatan kedua (minggu),

G_a = Luas lahan (m^2).

4.4.5. Laju pertumbuhan nisbi

Laju pertumbuhan nisbi (LPN) atau *relative growth rate* (RGR) yaitu kemampuan tanaman menghasilkan bahan kering hasil asimilasi tiap satuan bobot kering awal tiap satuan waktu (g/g/minggu) dengan rumus:

$$LPN = \frac{\ln(W_2) - \ln(W_1)}{T_2 - T_1}$$

Keterangan:

- LPN = Laju pertumbuhan relatif (g/g/minggu),
- W_1 = Bobot kering tanaman pada pengamatan pertama (g),
- W_2 = Bobot kering tanaman pada pengamatan kedua (g),
- T_1 = Waktu pengamatan pertama (minggu),
- T_2 = Waktu pengamatan kedua (minggu).

4.4.6. Leaf area ratio (LAR)

Leaf area ratio (LAR) adalah ratio luas daun dengan bobot kering daun dari suatu tanaman pada waktu tertentu dengan rumus:

$$LAR = \frac{La_2 - La_1}{W_2 - W_1} \times \frac{\ln(W_2) - \ln(W_1)}{\ln(La_2) - \ln(La_1)}$$

Keterangan:

- LAR = Leaf area ratio (cm²/g),
- W_1 = Bobot kering tanaman pada pengamatan pertama (g),
- W_2 = Bobot kering tanaman pada pengamatan kedua (g),
- La_1 = Luas daun pengamatan pertama (cm²),
- La_2 = Luas daun pengamatan kedua (cm²).

4.5. Cara Analisis Pertumbuhan Tanaman

Contoh 1:

Cara perhitungan analisis pertumbuhan dan hasil tanaman cabai yang diamati dengan interval waktu 3 minggu sekali yaitu pada umur 0, 3, 6, 9, 12, dan 15 minggu setelah tanam (MST) dengan jarak tanam 50 × 30 cm. Pengamatan dilakukan terhadap luas daun (LD) dan bobot kering tanaman (BKT).

Jika data yang disajikan hanya pengamatan pada umur 0 dan 3 MST. Hitunglah indeks luas daun (ILD), bobot daun khas (BDK), laju asimilasi bersih (LAB), laju

pertumbuhan nisbi (LPN), laju pertumbuhan tanaman (LPT), dan leaf area ratio (LAR) pada interval umur tanaman antara 0-3 MST.

Tabel 4.4. Luas Daun dan Bobot Kering Tanaman Cabai pada Jarak Tanam 50 × 30 cm

| Paramater | Umur Tanaman | |
|------------------------------|--------------|-------|
| | 0 MST | 3 MST |
| Luas daun (cm ²) | 32,67 | 63,9 |
| Bobot kering tanaman (g) | 0,11 | 1,105 |

Keterangan:

0 MST = Saat bibit di tanaman di lapangan (sudah berdaun)

3 MST = Tanaman berumur 3 minggu dari saat tanam bibit di lapangan

Jawab:

1. Indeks luas daun (ILD) pada 3 MST

Diketahui luas daun 63,9 cm² (La) dan jarak tanaman cabai 50 × 30 cm (Ga), maka ILD yaitu:

$$\begin{aligned} \text{ILD} &= \frac{\text{La}}{\text{Ga}} \\ &= \frac{63,9 \text{ cm}^2}{50 \times 30 \text{ cm}^2} \\ &= 0,043 \end{aligned}$$

Indeks luas daun tanaman umur 3 MST yaitu 0,043 (tanpa satuan)

2. Bobot daun khas (BDK) pada 3 MST

Diketahui bobot kering daun 1,105 g dan luas daunnya 63,9 cm², maka BDK yaitu:

$$\begin{aligned} \text{BDK} &= \frac{\text{Bobot kering daun (g)}}{\text{Luas daun (cm}^2\text{)}} \\ &= \frac{1,105 \text{ g}}{63,9 \text{ cm}^2} \\ &= 0,017 \text{ g/cm}^2 \end{aligned}$$

Artinya bobot daun tiap satuan luas daun sebesar 0,017 g/cm², hal ini menunjukkan semakin daun berbobot, maka daun semakin tebal.

3. Laju asimilasi bersih (LAB) antara 0-3 MST

Diketahui bobot kering tanaman 0,11 g (W1) dan luas daunnya 32,7 cm² (La1) pada 0 MST (T1), sedangkan bobot kering tanaman 1,105 g (W2) dan luas daunnya 63,9 cm² (La2) pada 3 MST (T2).

$$\begin{aligned} \text{LAB} &= \frac{W_2 - W_1}{T_2 - T_1} \times \frac{\ln La_2 - \ln La_1}{La_2 - La_1} \\ &= \frac{(1,105 - 0,11) \text{ g}}{(3 - 0) \text{ minggu}} \times \frac{\ln(63,9) - \ln(32,67)}{(63,9 - 32,67) \text{ cm}^2} \\ &= 0,02395 \text{ g/cm}^2/\text{minggu} \end{aligned}$$

Berarti tanaman mampu menghasilkan bahan kering hasil fotosintesis tiap satuan luas daun (cm²), tiap satuan waktu (minggu) yaitu 0,02395 g/cm²/minggu.

4. Laju pertumbuhan tanaman (LPT) antara 0-3 MST

Diketahui bobot kering tanaman 0,11 g (W1) pada 0 MST (T1), sedangkan bobot kering tanaman 1,105 g (W2) pada 3 MST (T2) dengan jarak tanam 50 × 30 cm (Ga).

$$\begin{aligned} \text{LPT} &= \frac{1}{Ga} \times \frac{W_2 - W_1}{T_2 - T_1} \\ &= \frac{1}{(50 \times 30) \text{ cm}^2} \times \frac{(1,105 - 0,11) \text{ g}}{(3 - 0) \text{ minggu}} \\ &= 0,00022 \text{ g/cm}^2/\text{minggu} \end{aligned}$$

Artinya tanaman mampu menghasilkan bahan kering hasil fotosintesis tiap satuan luas lahan (cm²), tiap satuan waktu tertentu yang pendek (minggu) sebesar 0,00022 g/cm²/minggu.

5. Laju pertumbuhan nisbi (LPN) antara 0-3 MST

Diketahui bobot kering tanaman 0,11 g (W1) pada 0 MST (T1), dan bobot kering tanaman 1,105 g (W2) pada 3 MST (T2).

$$\begin{aligned} \text{LPN} &= \frac{\ln(W_2) - \ln(W_1)}{T_2 - T_1} \\ &= \frac{\ln(1,105 \text{ g}) - \ln(0,11 \text{ g})}{(3 - 0) \text{ minggu}} \\ &= 0,7690 \text{ g/g/minggu} \end{aligned}$$

Artinya kemampuan tanaman menghasilkan bahan kering hasil asimilasi tiap satuan bobot kering awal (g) tiap satuan waktu (minggu) yaitu 0,7690 g/g/minggu.

6. Leaf area ratio (LAR) antara 0-3 MST

Diketahui bobot kering tanaman 0,11 g (W1) dan luas daunnya 32,7 cm² (La1) pada 0 MST (T1), sedangkan bobot kering tanaman 1,105 g (W2) dan luas daunnya 63,9 cm² (La2) pada 3 MST (T2).

$$\begin{aligned} \text{LAR} &= \frac{\text{La2} - \text{La1}}{\text{W2} - \text{W1}} \times \frac{\ln(\text{W2}) - \ln(\text{W1})}{\ln(\text{La2}) - \ln(\text{La1})} \\ &= \frac{(63,9 - 32,67) \text{ cm}^2}{(1,105 - 0,11) \text{ g}} \times \frac{\ln(1,105) - \ln(0,11)}{\ln(63,9) - \ln(32,67)} \\ &= 107,94 \text{ cm}^2/\text{g} \end{aligned}$$

Artinya ratio luas daun (cm²) dengan bobot kering daun (g) dari suatu tanaman pada waktu tertentu yaitu 107,94 cm²/g.

Contoh 2.

Data hasil pengamatan di lapangan disajikan pada Tabel 3.5 di bawah meliputi luas daun dan bobot kering tanaman cabai pada umur 3 dan 6 MST dengan jarak tanam 50 × 30 cm.

Hitunglah:

1. Berapa indeks luas daun (ILD),
2. Berapa laju asimilasi bersih (LAB),
3. Berapa laju pertumbuhan nisbi (LPN),
4. Berapa laju pertumbuhan tanaman (LPT).

Tabel 4.5. Data Luas daun (3 dan 6 MST) dan Bobot Kering Tanaman (3 dan 6 MST)

a. Luas Daun pada 3 MST (La1)

| Perla- kuan | Blok | | |
|----------------|-------|-------|-------|
| | I | II | III |
| M1J1 | 63,9 | 76,8 | 80,9 |
| M1J2 | 60,2 | 106,4 | 87,5 |
| M1J3 | 60,7 | 88,5 | 107,2 |
| M2J1 | 168,4 | 185,6 | 203,5 |
| M2J2 | 182,0 | 174,8 | 193,4 |
| M2J3 | 207,8 | 189,9 | 192,0 |
| M3J1 | 117,7 | 149,5 | 110,5 |
| M3J2 | 149,7 | 128,8 | 137,3 |
| M3J3 | 162,8 | 154,8 | 167,3 |
| M4J1 | 59,8 | 70,2 | 64,6 |
| M4J2 | 62,4 | 66,7 | 80,5 |
| M4J3 | 73,6 | 111,0 | 80,4 |
| M5J1 | 152,1 | 171,1 | 234,5 |
| M5J2 | 206,3 | 194,3 | 219,3 |
| M5J3 | 311,3 | 259,6 | 208,4 |

b. Luas Daun pada 6 MST (La2)

| Perla- kuan | Blok | | |
|----------------|-------|-------|-------|
| | I | II | III |
| M1J1 | 97,5 | 149,8 | 108,9 |
| M1J2 | 140,9 | 164,3 | 179,0 |
| M1J3 | 167,7 | 124,7 | 174,2 |
| M2J1 | 394,4 | 522,5 | 378,0 |
| M2J2 | 468,5 | 744,7 | 703,0 |
| M2J3 | 563,9 | 773,2 | 584,2 |
| M3J1 | 846,4 | 815,0 | 890,4 |
| M3J2 | 831,6 | 833,8 | 893,4 |
| M3J3 | 804,8 | 979,7 | 824,5 |
| M4J1 | 123,6 | 131,8 | 128,4 |
| M4J2 | 104,2 | 118,6 | 153,6 |
| M4J3 | 120,6 | 111,5 | 150,6 |
| M5J1 | 440,8 | 474,8 | 464,3 |
| M5J2 | 563,2 | 407,5 | 559,9 |
| M5J3 | 611,0 | 387,8 | 537,2 |

c. Berat Kering Tanaman pada 3 MST (W1)

| Perla- kuan | Blok | | |
|----------------|-------|-------|-------|
| | I | II | III |
| M1J1 | 1,105 | 1,565 | 1,360 |
| M1J2 | 1,130 | 1,600 | 1,760 |
| M1J3 | 1,345 | 1,640 | 1,365 |
| M2J1 | 2,360 | 2,570 | 2,160 |
| M2J2 | 2,730 | 2,585 | 2,060 |
| M2J3 | 2,620 | 2,660 | 2,140 |
| M3J1 | 1,320 | 1,890 | 1,160 |
| M3J2 | 1,745 | 1,625 | 1,830 |
| M3J3 | 1,575 | 1,730 | 2,055 |
| M4J1 | 1,035 | 1,000 | 1,035 |
| M4J2 | 1,045 | 1,075 | 1,215 |
| M4J3 | 1,000 | 1,100 | 1,340 |
| M5J1 | 2,630 | 2,335 | 2,255 |
| M5J2 | 2,995 | 3,080 | 3,700 |
| M5J3 | 4,045 | 3,510 | 3,630 |

d. Berat Kering Tanaman 6 MST (W2)

| Perla- kuan | Blok | | |
|----------------|--------|--------|--------|
| | I | II | III |
| M1J1 | 2,685 | 3,620 | 2,900 |
| M1J2 | 3,780 | 3,790 | 3,800 |
| M1J3 | 3,865 | 4,310 | 3,185 |
| M2J1 | 13,665 | 15,015 | 11,065 |
| M2J2 | 18,760 | 18,115 | 17,160 |
| M2J3 | 20,170 | 19,685 | 17,815 |
| M3J1 | 19,485 | 21,210 | 13,940 |
| M3J2 | 24,735 | 23,115 | 19,020 |
| M3J3 | 37,155 | 31,555 | 29,300 |
| M4J1 | 2,230 | 2,475 | 2,760 |
| M4J2 | 2,850 | 3,280 | 3,140 |
| M4J3 | 3,015 | 3,245 | 4,605 |
| M5J1 | 12,480 | 13,870 | 12,405 |
| M5J2 | 15,090 | 17,595 | 19,460 |
| M5J3 | 23,915 | 18,865 | 19,660 |

Dengan menggunakan rumus ILD, LAB, LPN, LPT dan bantuan program Excell, maka nilai ILD, LAB, LPN dan LPT dapat diperoleh data sebagai berikut:

a. ILD pada 3 MST

| Perlakuan | Blok | | |
|-----------|-------|-------|-------|
| | I | II | III |
| M1J1 | 0,043 | 0,051 | 0,054 |
| M1J2 | 0,024 | 0,043 | 0,035 |
| M1J3 | 0,017 | 0,025 | 0,031 |
| M2J1 | 0,112 | 0,124 | 0,136 |
| M2J2 | 0,073 | 0,070 | 0,077 |
| M2J3 | 0,059 | 0,054 | 0,055 |
| M3J1 | 0,078 | 0,100 | 0,074 |
| M3J2 | 0,060 | 0,052 | 0,055 |
| M3J3 | 0,047 | 0,044 | 0,048 |
| M4J1 | 0,040 | 0,047 | 0,043 |
| M4J2 | 0,025 | 0,027 | 0,032 |
| M4J3 | 0,021 | 0,032 | 0,023 |
| M5J1 | 0,101 | 0,114 | 0,156 |
| M5J2 | 0,083 | 0,078 | 0,088 |
| M5J3 | 0,089 | 0,074 | 0,060 |

b. LAB pada 3-6 MST

| Perlakuan | Blok | | |
|-----------|--------|--------|--------|
| | I | II | III |
| M1J1 | 0,0066 | 0,0063 | 0,0055 |
| M1J2 | 0,0093 | 0,0055 | 0,0053 |
| M1J3 | 0,0080 | 0,0084 | 0,0044 |
| M2J1 | 0,0142 | 0,0127 | 0,0105 |
| M2J2 | 0,0176 | 0,0132 | 0,0127 |
| M2J3 | 0,0164 | 0,0137 | 0,0148 |
| M3J1 | 0,0164 | 0,0164 | 0,0114 |
| M3J2 | 0,0193 | 0,0190 | 0,0142 |
| M3J3 | 0,0295 | 0,0222 | 0,0220 |
| M4J1 | 0,0045 | 0,0050 | 0,0062 |
| M4J2 | 0,0074 | 0,0081 | 0,0057 |
| M4J3 | 0,0071 | 0,0064 | 0,0097 |
| M5J1 | 0,0121 | 0,0129 | 0,0101 |
| M5J2 | 0,0113 | 0,0168 | 0,0145 |
| M5J3 | 0,0149 | 0,0160 | 0,0154 |

c. LPN pada 3-6 MST

| Perlakuan | Blok | | |
|-----------|--------|--------|--------|
| | I | II | III |
| M1J1 | 0,2959 | 0,2795 | 0,2524 |
| M1J2 | 0,4025 | 0,2875 | 0,2566 |
| M1J3 | 0,3519 | 0,3221 | 0,2824 |
| M2J1 | 0,5854 | 0,5884 | 0,5446 |
| M2J2 | 0,6425 | 0,6490 | 0,7066 |
| M2J3 | 0,6803 | 0,6672 | 0,7064 |
| M3J1 | 0,8973 | 0,8060 | 0,8288 |
| M3J2 | 0,8838 | 0,8850 | 0,7804 |
| M3J3 | 1,0536 | 0,9679 | 0,8858 |
| M4J1 | 0,2559 | 0,3021 | 0,3269 |
| M4J2 | 0,3344 | 0,3718 | 0,3165 |
| M4J3 | 0,3679 | 0,3606 | 0,4115 |
| M5J1 | 0,5190 | 0,5939 | 0,5683 |
| M5J2 | 0,5390 | 0,5809 | 0,5533 |
| M5J3 | 0,5923 | 0,5606 | 0,5631 |

d. LPT pada 3-6 MST

| Perlakuan | Blok | | |
|-----------|--------|--------|--------|
| | I | II | III |
| M1J1 | 3,511 | 4,567 | 3,422 |
| M1J2 | 3,533 | 4,867 | 4,533 |
| M1J3 | 2,400 | 5,933 | 4,044 |
| M2J1 | 25,122 | 27,656 | 19,789 |
| M2J2 | 21,373 | 34,511 | 33,556 |
| M2J3 | 16,714 | 37,833 | 34,833 |
| M3J1 | 40,367 | 42,933 | 28,400 |
| M3J2 | 30,653 | 47,756 | 38,200 |
| M3J3 | 33,886 | 66,278 | 60,544 |
| M4J1 | 2,656 | 3,278 | 3,833 |
| M4J2 | 2,407 | 4,900 | 4,278 |
| M4J3 | 1,919 | 4,767 | 7,256 |
| M5J1 | 21,889 | 25,633 | 22,556 |
| M5J2 | 16,127 | 32,256 | 35,022 |
| M5J3 | 18,924 | 34,122 | 35,622 |

4.6. Pengamatan Sekapan Cahaya Matahari

Pengamatan dengan menggunakan alat light meter dengan mengukur intensitas cahaya di bawah tajuk dibanding di atas tajuk dinyatakan dalam %, 1 sensor.

Cara kerja pengukuran intensitas cahaya matahari yang diteruskan di bawah kanopi tanaman:

1. Pengukuran cahaya matahari datang dibaca 1 kali di tempat terbuka (di atas tajuk tanaman). Besarnya intensitas matahari akan terbaca pada monitor *light meter*, dalam satuan *footcandle* (fc) (dianggap sebagai a)
2. Dalam waktu yang bersamaan juga dilakukan pengukuran cahaya matahari yang diteruskan ke bawah tajuk sebanyak 5-10 kali. Saat cahaya menerobos tajuk tanaman, macam cahaya yang banyak diteruskan yaitu inframerah dengan terang yang sama (energi lebih kecil). Besarnya intensitas matahari yang diteruskan akan terbaca di dalam monitor *light meter* dalam satuan *footcandle* (fc), karena pengukuran berkali-kali selanjutnya diambil nilai rata-ratanya (dianggap sebagai b).
3. Sekapan cahaya (S_c) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$S_c (\%) = \frac{a-b (fc)}{a (fc)} \times 100\%$$

Keterangan:

S_c = Sekapan cahaya (%),

a = Intensitas cahaya di atas kanopi tanaman (fc)

b = Rerata intensitas cahaya di bawah kanopi tanaman (fc)



Gambar 4.16. Alat Pengukur Intensitas Cahaya *Light Meter*

Contoh:

Diketahui intensitas sinar matahari di atas kanopi = 7770 fc. Rerata intensitas sinar diteruskan di bawah tajuk = 519,3 fc, maka:

$$Sc (\%) = \frac{(7770 - 519,3) \text{ fc}}{519,9 \text{ fc}} \times 100\% = 93,3\%.$$

Jadi intensitas cahaya matahari yang disekap tajuk tanaman sebesar 93,3% sisanya 6,7% diteruskan di bawah kanopi tanaman

BAB 5

PERTUMBUHAN GENERATIF TANAMAN

5.1. Pendahuluan

Pertumbuhan tanaman dalam menyelesaikan satu siklus hidupnya dibagi menjadi 2 fase, yaitu: fase vegetatif dan generatif. Kedua fase ini harus saling mendukung. Untuk diperoleh hasil yang maksimal, maka fase vegetatif pertumbuhannya harus kuat atau subur. Adanya pertumbuhan generatif yang baik karena dihasilkan bahan tanaman yang pertumbuhan vegetatif yang baik pula, tetapi terkadang saling bertolak belakang. Fase vegetatif terlalu kuat, menyebabkan pertumbuhan generatif akan dihambat dan sebaliknya. Tanaman setelah berbuah lebat, maka buah pada tahun berikutnya jumlahnya lebih sedikit.

Pembungaan, pembuahan, dan pembentukan biji merupakan peristiwa penting dalam proses budidaya tanaman. Proses-proses tersebut dikendalikan oleh lingkungan yaitu fotoperiode, suhu, *water stress*, dan adanya lingkungan yang baik maupun faktor-faktor genetik (faktor dalam). Proses perkembangan tanaman yang harus tepat waktu adalah proses pembungaan tanaman.

Tanaman akan berbunga jika organ-organ pendukungnya sudah tumbuh secara maksimal untuk menghantarkan beralih ke fase pertumbuhan generatif. Saat pembungaan tanaman semusim (*annual plant*), tanaman dua musim (*biennial plant*) dan tanaman tahunan (*perennial plant*) akan berbunga dengan rangsangan faktor luar atau dalam.

Hasil yang tanaman diharapkan (hasil ekonomi) dari budidaya tanaman, tidak selalu hasil generatif tetapi dapat juga berupa hasil vegetatif tanaman. Hasil tanaman dapat dibagi menjadi dua, yaitu hasil ekonomi (*economic yield*) dan hasil biologi (*biological yield*). *Economic yield* adalah hasil dari tanaman yang mempunyai nilai ekonomi utama. *Biological yield* adalah semua hasil dari tanaman (termasuk *economic yield*). Hasil dari suatu tanaman dapat berupa hasil pertumbuhan vegetatif dan generatif.



Gambar 5.1. Perbedaan Hasil Ekonomi Tanaman Tebu dan Padi

Contoh:

1. Tanaman tebu

Economic yield berupa batang tebu (vegetatif), karena sakarosa terkandung di dalam batangnya.

2. Tanaman padi

Economic yield berupa gabah kering dan *biological yield* berupa bobot gabah kering (*economic yield*), akar, daun, dan batang, dan lainnya.

5.2. Faktor-faktor yang Berpengaruh

Tanaman cepat atau lambat pertumbuhan vegetatifnya dan akhirnya akan beralih masuk fase pertumbuhan generatif. Pada fase pertumbuhan ini ditandai terbentuknya primordia bunga. Tanaman pada umumnya tidak akan membentuk bunga (meskipun faktor lingkungan memenuhi) sebelum dapat menyelesaikan satu tahap tertentu dari pertumbuhan vegetatifnya yang disebut *ripeness to flower*.

Terbentuknya bunga pada tanaman mangga diperlukan periode kering (*water stress*). Tanaman pada umur 1 tahun jika mendapatkan periode kering, maka tanaman tetap tidak akan berbunga sebelum menyelesaikan satu fase pertumbuhan vegetatifnya, mungkin baru berumur 3 tahun akan berbunga. Ada beberapa faktor yang mendorong terbentuknya bunga pada tanaman.

5.2.1. Faktor suhu

Berbunganya tanaman memerlukan suhu rendah, misalnya suhu tidak lebih dari 6 °C. Peranan perlakuan suhu rendah yaitu merangsang untuk membentuk hormon pembentukan bunga (hormon *vernalin* atau hormon *proligen*). Peranan perlakuan suhu rendah dapat diganti, asal diberi giberelin. Ternyata vernalin tadi adalah *giberellin acid*. Pada peristiwa vernalisasi terjadi sifat vernalisasi dan dapat dihilangkan, apabila tanaman ditempatkan pada suhu tinggi. Diduga suhu tinggi dapat merusak vernalin sehingga tanaman tidak dapat berbunga. Periode perlakuan tidak cukup sehari, minimal 4 hari (lama perlakuan dan suhu rendah). Bagian organ vegetatif yang mudah terangsang adalah kuncup batang (< 6 °C). Pada pucuk akan tumbuh zat pendorong bunga yang disebut vernalin yang akan menyebabkan perubahan pertumbuhan vegetatif ke pertumbuhan generatif.

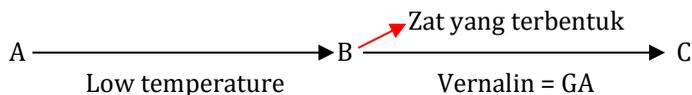
Vernalisasi pada daerah temperature zone

Height temperature vernalization

Jika tanaman berbunga pada suhu tinggi (untuk daerah tropika). Dengan suhu tinggi, pertumbuhan vegetatif dihambat sedangkan tanaman terus mengadakan fotosintesis, sehingga karbohidrat banyak tidak terpakai (terkumpul) pada jumlah tertentu untuk membentuk bunga sehingga beralih ke pertumbuhan generatif.

Low temperature vernalization

Jika tanaman berbunga pada suhu rendah. Jika tumbuh di tempat yang suhu tinggi tidak mau berbunga. Suhu yang relatif tinggi akan merusak dari zat vernalin.



Apabila suhu tinggi, zat B akan terurai (akibat degradasi pada suhu tinggi) sehingga tidak membentuk bunga. B sebagai zat perantara.

5.2.2. Fotoperiode

Fotoperiode adalah suatu peristiwa dimana berbunganya tanaman dipengaruhi oleh fotoperiode (panjang penyinaran). Fotoperiodisme adalah respon tanaman terhadap lamanya penyinaran (panjang pendeknya hari) yang dapat merangsang pembungaan. Istilah fotoperiodisme digunakan untuk fenomena dimana fase perkembangan tanaman yang dipengaruhi oleh lama penyinaran yang diterima oleh tanaman. Beberapa jenis tanaman perkembangannya sangat dipengaruhi oleh

lamanya penyinaran, terutama saat tanaman akan memasuki fase generatifnya, misalnya pembungaan.

Beberapa tanaman akan memasuki fase generatif (membentuk organ reproduktif), hanya jika tanaman tersebut menerima penyinaran yang panjang > 14 jam dalam setiap periode sehari semalam, sebaliknya ada pula tanaman yang hanya akan memasuki fase generatif jika menerima penyinaran matahari singkat yaitu < 10 Jam.

Di daerah tropika, kadang siangnya lebih panjang dari malamnya. Kadang siang lebih pendek dari malam hari, walaupun hanya beberapa menit. Bulan Januari-Agustus, siang hari < 12 jam, dan pada bulan Agustus-Maret > 12 jam. Fotoperiode kritik (PK) atau *critical photoperiod* adalah fotoperiode yang menentukan apakah suatu tanaman setelah mencapai *ripening to flowers* mau berbunga atau tidak.

Berdasarkan atas pengaruh fotoperiode terhadap tanaman, maka tanaman dapat digolongkan menjadi 4 kelompok:

(1) Tanaman hari pendek (*short day plant = SDP*)

Tanaman hari pendek (*short day plant*) adalah suatu tanaman hanya akan berbunga apabila mendapatkan fotoperiode yang lebih pendek dari fotoperiode kritiknya. Tanaman hari pendek, contoh: krisan, jagung, kedelai, anggrek, dan bunga matahari.

(2) Tanaman hari panjang (*long day plant = LDP*)

Tanaman hari panjang (*long day plant*) yaitu suatu tanaman akan berbunga apabila mendapatkan fotoperiode lebih panjang dari fotoperiode kritiknya. Tanaman hari panjang, contoh: kembang sepatu, bit gula, selada, dan tembakau.

(3) Tanaman hari netral (*neutral day plant = NDP*)

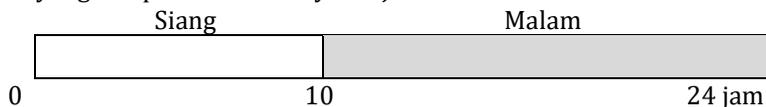
Tanaman hari netral (*neutral day plant*) yaitu tanaman untuk berbunganya tanaman tidak dipengaruhi oleh fotoperiode kritik, karena tanaman tropika. Tumbuhan hari netral, contoh: mentimun, padi, wortel liar, dan kapas.

(4) Tanaman intermediate (*intermediate day plant = IDP*)

Tanaman intermediate yaitu tanaman akan berbunga apabila mendapatkan fotoperiode lebih panjang daripada fotoperiode kritik bawah dan lebih pendek daripada fotoperiode kritik atas. Tiap-tiap tanaman, fotoperiode kritiknya bermacam-macam sehingga batas jam tidak penting.

Daerah tropika (tanaman hari netral) dan 1, 2, dan 4 (iklim sedang).

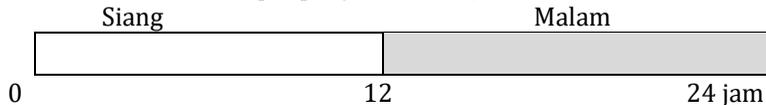
Tanaman yang fotoperiode kritiknya 10 jam



Tanaman ini akan berbunga jika mendapat fotoperiode < 10 jam

| | |
|-----|-----|
| SDP | LDP |
| (+) | (-) |

Jika tanaman tersebut mendapat penyinaran 12 jam



Tanaman ini akan berbunga jika mendapat fotoperiode > 12 jam

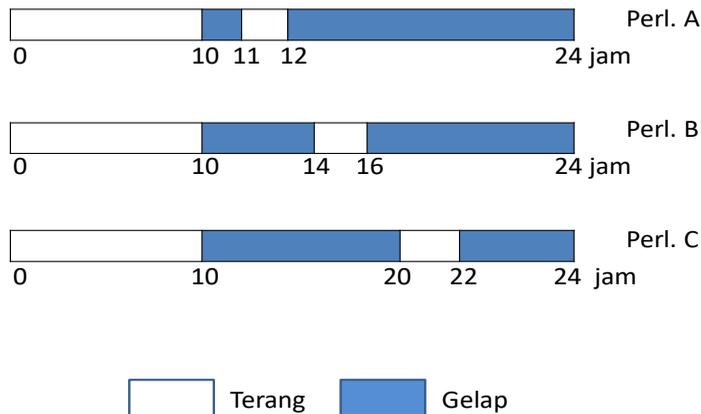
| | |
|-----|-----|
| SDP | LDP |
| (-) | (+) |

Jika fotoperiode kritis 24 jam

| | |
|-----|-----|
| SDP | LDP |
| (-) | (+) |

Short day plant atau disebut *long night plant*, *long day plant* disebut juga *short night plant* (butuh malam pendek)

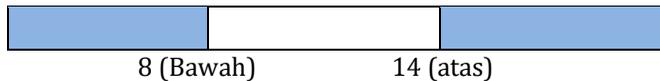
Jika tanaman tsb mendapat penyinaran terganggu (penelitian)



Bagaimana dampaknya terhadap tanaman hari pendek A, jika terjadi gangguan periode malam? Jika terjadi pada awal sehingga sisanya masih bisa memberikan periode malam yang panjang, ini dapat menyebabkan berbunga. Untuk Perlakuan B, karena di tengah-tengah (14-16) disinari maka kurang panjang periode gelapnya

sehingga tidak cukup untuk terbentuknya hormone, maka tidak mendorong terbentuknya bunga (gagal). Untuk C, karena cukup panjang gelapnya, maka cukup terbentuk hormon.

Untuk tanaman *intermediate* mempunyai 2 batas yaitu periode kritik atas dan bawah.



Tanaman rosela, kenap (rosela merupakan tanaman hari pendek). Ini menunjukkan sifat periodisme, tetapi fotoperiode kritiknya berbeda. Rosela 12 jam, kenap dan yute 12 jam 30 menit. Jika di tanam di Jawa, tanaman rosela akan berbunga jika fotoperiode < 12 jam. Tanaman kenap dan yute akan berbunga kapanpun jika sudah *ripenes to flowers*. Fotoperiode yang cocok dapat mendorong berbunganya tanaman, juga mengalami siklus 1x *short* atau 1x *long night*.

Selain fotoperiode yang sesuai, juga siklusnya beberapa kali karena apabila fotoperiode cocok dan siklusnya tidak cocok maka tanaman tidak akan berbunga juga sebaliknya. Siklus perlakuan penyinaran yang cocok dan fotoperiode yang cocok mendorong berbunganya tanaman disebut siklus foto induktif (*photo inductive cycle*) kebalikannya (*non photo inductive cycle*).

Contoh:

Tanaman *Silvia occidentalis*, merupakan tanaman hari pendek dengan fotoperiode kritik 10 jam, siklus foto induktif 17x (minimum) baru akan berbunga.

Nilai fotoperiode ada yang *exact* (pasti) dan *non exact* (tidak pasti). Atas dasar tersebut, maka fotoperiode kritik pasti disebut fotoperiode bersifat kuantitatif dan yang tidak pasti bersifat kualitatif.

Contoh:

- o Tanaman hari pendek yang bersifat kualitatif, PK = 10 jam, artinya tanaman akan berbunga jika fotoperiodenya kurang dari 10 jam.
- o Tanaman hari pendek PK = 10, tetapi bersifat kuantitatif, artinya tanaman tadi apabila mendapatkan fotoperiode kurang dari 10 jam akan cepat berbunga. Kalau mendapatkan fotoperiode lebih 10 jam masih dapat berbunga tetapi umurnya lebih panjang. Tetapi jika mendapatkan fotoperiode lebih 10 jam tidak akan berbunga

Siklus foto induktif adalah siklus penyinaran *long day* dan *short night* yang memungkinkan tanaman berbunga.

Contoh:

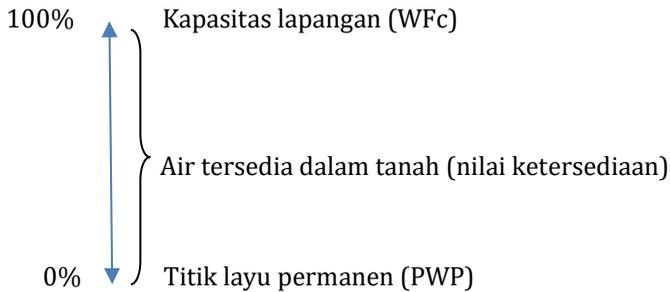
Tanaman *Xanthium penusylvanicum*, hanya 1x siklus foto induktif, untuk tanaman ini yang sensitif daunnya.

5.2.3. Water Stress

Berbunganya tanaman tropika ditentukan oleh adanya akumulasi karbohidrat dan senyawa lain dalam jumlah cukup (misal: tebu). Oleh karena itu apabila akumulasi tidak berlangsung baik, maka sedikit terbentuk bunga. Karbohidrat diperlukan dalam jumlah banyak, maka fotosintesis harus berjalan baik baik dan juga dipengaruhi lingkungan. Oleh sebab itu, dibutuhkan lingkungan yang *favourable* yaitu lingkungan yang memungkinkan terjadi akumulasi karbohidrat dan senyawa lain.

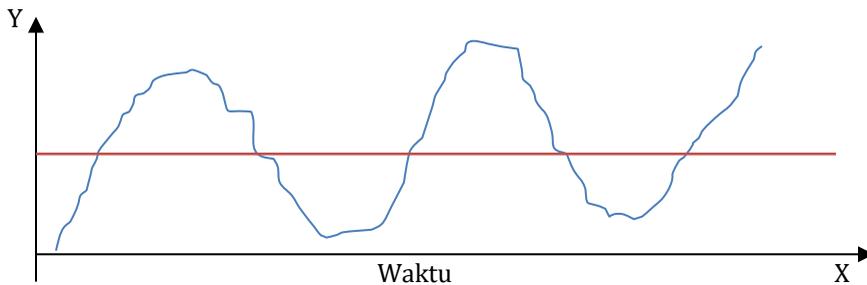
1. Tanaman coklat

Tanaman ini untuk dapat membentuk bunga tidak memerlukan air yang terlalu banyak (kapasitas lapangan = batas atas kadar air yang paling baik untuk tanaman darat).



Pada keadaan *water potential* yaitu potensial air nilainya 0 atmosfer (bar). Tanah yang makin kurang airnya nilainya minus (-5, -15, -20 atmosfer), artinya minus makin rendah, larutan makin pekat, tekanan osmose (TO) makin tinggi. Untuk tanaman coklat jika *water potential* = 0 atm artinya tidak baik, tetapi paling baik yaitu -0,3 atm.

Berikut digambarkan hubungan antara waktu (X) (dengan curah hujan tertentu) dan hasil coklat (Y).



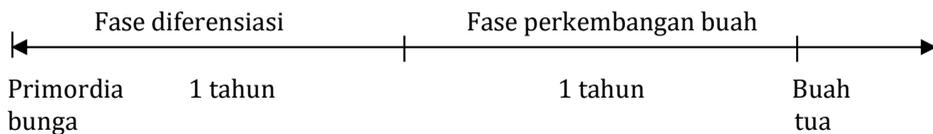
Gambar 5.2. Hubungan Waktu (dengan CH tertentu) dan Hasil Cokelat

Pada akhir musim hujan, cabang-cabang primer mulai muncul kuncup bunga. Awalnya pada ketiak daun terlihat kuncup bunga berukuran kecil yang diselubungi oleh sepasang daun penumpu. Pada setiap kuncup tumbuh sebagian bunga berwarna hijau dan setelah itu beralih menjadi warna keputihan. Kuncup sebagai calon bunga ini untuk sebagian waktu beristirahat. Kuncup bunga yang istirahat dapat segera tumbuh sesudah turun "hujan kiriman". Pada bunga dewasa sesudah 7-8 hari, jika hujan kiriman tidak datang, maka calon bunga tak lagi tumbuh dan mekar menjadi bunga dewasa sehingga tanaman gagal berbuah. Oleh sebab itu, apabila "hujan kiriman" tidak datang, maka tanaman kopi kerap dilakukan pengairan.

Bunga kopi yang sudah mekar siap untuk diserbuki. Pada waktu bunga mekar siap untuk diserbuki sehingga dibutuhkan cuaca kering dan tidak terjadi hujan sepanjang satu bulan. Apabila berlangsung hujan pada waktu penyerbukan, maka tepung sari dapat menggumpal dan bunga menjadi rusak hingga gagal menjadi buah.

4. Tanaman kelapa

Berbunganya tanaman kelapa diperlukan keadaan lingkungan yang cocok dan memungkinkan adanya akumulasi karbohidrat dan unsur hara yang cukup. Pada tanaman kelapa terdapat bunga jantan dan betina terletak dalam satu pohon. Untuk membentuk bunga sampai dengan buah masak membutuhkan waktu selama dua tahun.



Lingkungan harus *favourable* yang baik (dua bulan pertama memerlukan lingkungan yang baik), memerlukan curah hujan merata sepanjang tahun. Tanaman kelapa dapat tumbuh dengan optimal pada daerah dengan curah hujan antara 1.300-2.300 mm per tahun, namun tanaman tetap dapat tumbuh meski curah hujan di tempat tumbuhnya mencapai 3.800 mm per tahun, jika drainase tanah baik.

5. Tanaman mangga

Tanaman mangga juga memerlukan keadaan 2-3 bulan periode kering. Hujan sepanjang tahun tidak baik untuk terjadinya pembungaan, demikian musim kering yang terlalu panjang juga tidak baik.

Musim kemarau yang cocok untuk tanaman mangga adalah sekitar 2-8 bulan dalam satu tahun, serta memerlukan curah hujan berkisar 750-2.500 mm per tahun. Musim buah mangga biasanya pada musim kemarau. Pohon berbunga pada 1,5-2

bulan permulaan musim kemarau dan matang 3-4 bulan kemudian. Semakin kering kemaraunya, maka hasil atau mutu buah menjadi lebih baik.

6. Tanaman jeruk

Tanaman jeruk memerlukan *dormant period* selama dua bulan dengan curah hujan < 60 mm. Jika periode kering lebih dari dua bulan, maka bunga akan gugur kembali.

Tanaman jeruk memerlukan antara 6-9 bulan basah (musim hujan), curah hujan 1000-2000 mm per tahun merata sepanjang tahun, dan air yang cukup terutama di bulan Juli-Agustus.

7. Tanaman Rambutan

Terbentuknya bunga rambutan diperlukan *stress periode* selama dua bulan, selanjutnya harus ada hujan. Curah hujan yang diperlukan antara 1500-2500 mm per tahun. Pada saat berbunga, rambutan memerlukan musim kering selama 2-3 bulan agar dapat menjadi buah yang baik. Jika musim kering lebih dari 3 bulan, maka bunga akan gugur dan buah tidak sempurna (kempes).

Penyebaran tanaman rambutan hanya terjadi pada daerah-daerah tertentu. Contoh: di daerah Pemalang (Jawa Tengah) kebanyakan orang tidak mau menanam rambutan.

8. Tanaman Nanas

Pada tanaman nanas, jika terdapat bulan kering tidak terlalu lama dapat mempercepat pembungaan. Jika periode kering terlalu lama akan berpengaruh jelek yaitu daun sempit, jumlah sedikit dan tidak membuka penuh pada fase pertumbuhan vegetatif. Akar tanaman nanas sangat dangkal, maka perlu hati-hati terhadap periode kering. Pada umumnya tanaman nanas toleran terhadap kekeringan serta memiliki kisaran curah hujan yg luas sekitar 1000-1500 mm per tahun.

9. Tanaman Tebu

Terbentuknya bunga tebu diperlukan periode kering. Sebelum masuk fase generatif, pertumbuhan harus kuat untuk menimbun sakarosa pada batang. Pada *ripennes to flowers* dapat menimbun sakarosa jumlah banyak, kemudian pertumbuhan vegetatif dihentikan dan akan terbentuk bunga. Pembentukan bunga merugikan hasil, karena sebagian sakarosa kadarnya turun karena diperlukan untuk pembentukan bunga. Pengembangan tanaman tebu yang tepat pada daerah dengan periode kering 4 bulan (kadar sakarosa sangat maksimal). Hal ini tidak berarti bahwa

bentuk rangsangan untuk daerah tropika tidak hanya *water stress* tetapi juga fotoperiode.

Curah hujan untuk tanaman tebu dapat tumbuh dengan baik di daerah dengan curah hujan berkisar antara 1.000–1.300 mm per tahun dengan sekurang-kurangnya 3 bulan kering. Distribusi curah hujan yang ideal untuk pertanaman tebu yaitu pada periode pertumbuhan vegetatif diperlukan curah hujan yang tinggi (200 mm per bulan) selama 5-6 bulan. Periode selanjutnya selama 2 bulan dengan curah hujan sebesar 125 mm dan 4–5 bulan dengan curah hujan kurang dari 75 mm per bulan yang merupakan periode kering.

10. Tanaman Padi

Varietas *indica* (sensitif), *javanica* (*intermediate*). Varietas *indica* pada umumnya termasuk tanaman hari pendek dan memiliki sifat ada yang kualitatif dan kuantitatif. Varietas *indica* kualitatif, periode kritik (PK) jauh di bawah 12 jam, maka ditanam di daerah *temperate*. Sedangkan yang bersifat kuantitatif masih bisa ditanam, PK lebih panjang walaupun berbunganya lama.

Rata-rata curah hujan di Indonesia untuk setiap tahunnya tidak sama. Kebutuhan curah hujan antara 2000–3000 mm per tahun. Keadaan curah hujan antara tempat yang satu dengan yang lain dan rata-rata curah hujannya tidak sama. Ada beberapa daerah yang mendapat curah hujan sangat rendah dan ada pula daerah yang mendapat curah hujan tinggi.

5.2.4. Adanya faktor lingkungan yang baik

Sebagian tanaman setelah menyelesaikan satu siklus hidupnya akan membentuk bunga, jika ada faktor lingkungan yang memungkinkan terjadi akumulasi karbohidrat dan unsur-unsur hara di dalam tubuh tanaman.

BAB 6

PEMBUNGAAN, PENYERBUKAN DAN PEMBUAHAN

6.1. Pembungaan (*Flowering*)

Proses pembungaan mengandung sejumlah tahap yang semuanya harus berhasil dilangsungkan untuk memperoleh hasil akhir yaitu biji. Masing-masing tahap dipengaruhi oleh faktor-faktor internal dan eksternal yang berbeda.

a. Tahap pertama: Induksi bunga (evokasi)

Suatu tahap ketika meristem vegetatif diprogram untuk mulai berubah menjadi meristem reproduktif. Terjadi di dalam sel dan dapat dideteksi secara kimiawi dari peningkatan sintesis asam nukleat dan protein yang dibutuhkan dalam pembelahan dan diferensiasi sel.

b. Tahap kedua: Inisiasi bunga

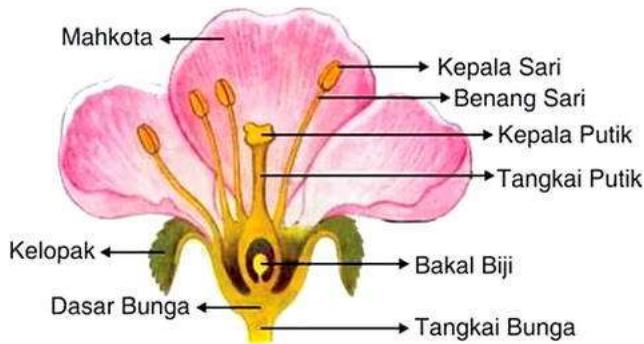
Suatu tahap ketika terjadi perubahan morfologis menjadi bentuk kuncup reproduktif mulai dapat terdeteksi secara makroskopis untuk pertama kalinya. Transisi dari tunas vegetatif menjadi kuncup reproduktif ini dapat dideteksi dari perubahan bentuk maupun ukuran kuncup, serta proses-proses selanjutnya yang mulai membentuk organ-organ reproduktif.

c. Tahap ketiga: Perkembangan kuncup bunga menuju *anthesis* (bunga mekar)

Ditandai dengan terjadinya diferensiasi bagian-bagian bunga. Pada tahap ini terjadi proses megasporogenesis dan mikrosporogenesis untuk penyempurnaan dan pematangan organ-organ reproduksi jantan dan betina.

d. Tahap keempat: Anthesis

Pada tahap ini ditandai terjadi pemekaran bunga. Biasanya anthesis terjadi bersamaan dengan masakannya organ reproduksi jantan dan betina, walaupun dalam kenyataannya tidak selalu demikian. Ada kalanya organ reproduksi, baik jantan maupun betina, masak sebelum terjadi anthesis, atau bahkan jauh setelah terjadinya *anthesis*. Bunga-bunga bertipe *dichogamy* mencapai kemasakan organ reproduktif jantan dan betinanya dalam waktu yang tidak bersamaan.



Gambar 6.1. Bunga dan Bagian-bagiannya
 Sumber: (Maya, 2019)

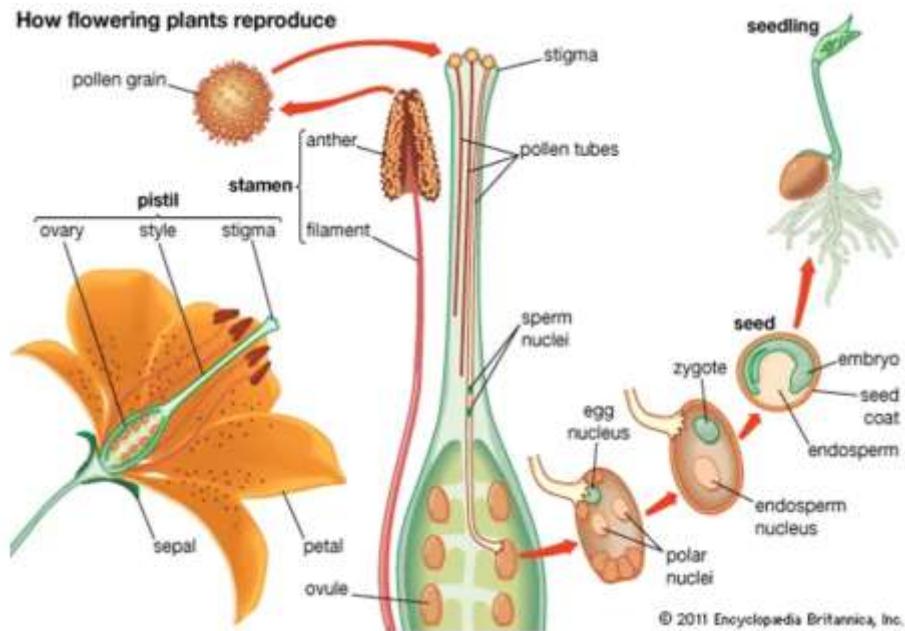
6.2. Penyerbukan (Pollination)

Penyerbukan merupakan peristiwa jatuhnya serbuk sari (*pollen*) di atas kepala putik (*stigma*) atau pengangkutan serbuk sari (*pollen*) dari kepala sari (*anthera*) ke kepala putik (*pistillum*).

Bunga merupakan alat reproduksi yang kelak menghasilkan buah dan biji. Di dalam biji ini terdapat calon tumbuhannya (*lembaga*). Terjadi buah dan biji serta calon tumbuhan baru tersebut karena adanya penyerbukan dan pembuahan. Penyerbukan merupakan jatuhnya serbuk sari pada kepala putik (untuk golongan tumbuhan berbiji tertutup) atau jatuhnya serbuk sari langsung pada bakal biji (untuk tumbuhan berbiji telanjang).

Faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya kegagalan penyerbukan diantaranya yaitu:

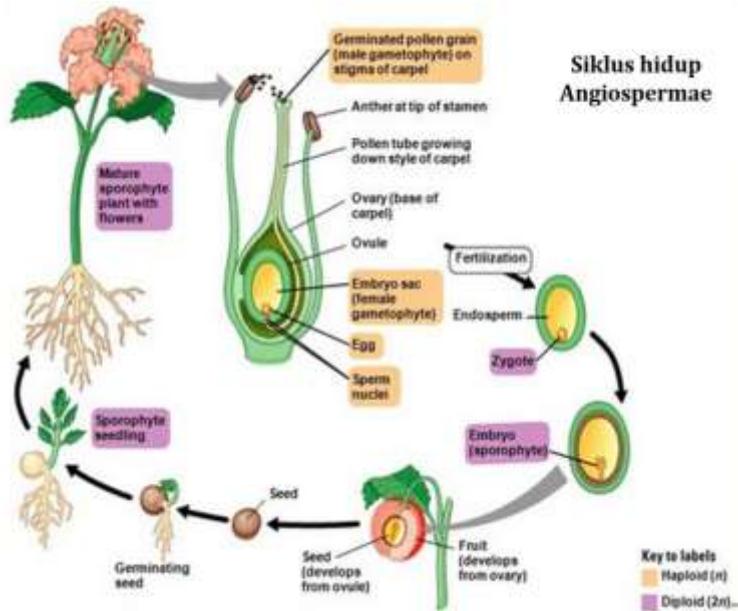
- a. Kepala putik dalam keadaan tidak siap diserbuki,
- b. Daya hidup tepung sari sangat rendah atau tepung sari sudah tidak pada fase produktif,
- c. Suhu dan kelembaban terlalu rendah atau terlalu tinggi,
- d. Serangan hama yang mengakibatkan kerusakan pada kepala putik.
- e. Serangan hama atau penyakit yang mengakibatkan kerusakan bakal buah, sehingga mengakibatkan banyak buah yang rontok sebelum masak
- f. Kurangnya unsur hara untuk pembentukan buah, sehingga perkembangan bakal buah menjadi terhambat, dan banyak buah rontok sebelum masak.



Gambar 6.2. Tahapan Proses Penyerbukan (*Pollination*)
 Sumber: (Anonim, 2022d)

6.3. Pembuahan (*fertilization*)

Pembuahan (*fertilisasi*) adalah peristiwa peleburan sel kelamin jantan (*sperma*) dengan sel kelamin betina atau sel telur (*ovum*). Pembuahan atau fertilisasi (*singami*) adalah peleburan dua gamet yang dapat berupa nukleus atau sel-sel bernukleus untuk membentuk sel tunggal (*zigote*) atau peleburan nukleus.



Gambar 6.3. Tahapan Proses Pembuahan (Fertilization)
 Sumber: (Anonim, 2019)

Pembuahan adalah bersatunya inti generatif I dengan ovum dan bersatunya inti generatif II dengan inti pusat kantong embrio (jumlahnya 2, masing-masing haploid \rightarrow triploid \rightarrow membentuk endosperm). Inti gen I ($1n$) + ovum ($1n$) \rightarrow embrio ($2n$) \rightarrow bakal biji (*ovarium*) \rightarrow biji. Inti gen II ($1n$) + 2 inti kantong embrio atau *saccus embryonalis* ($2n$) \rightarrow *endosperm* ($3n$) \rightarrow bakal buah (*ovulum*) \rightarrow buah. Ini disebut periode perkembangan buah.

Proses pembuahan hanya dapat terjadi di antara bunga yang sama jenisnya. Pada tumbuhan berbiji, pembuahan terjadi di dalam ruang bakal biji. Proses pembuahan pada tumbuhan berbiji sebagai berikut:

1. Tahap setelah penyerbukan, kepala putik menghasilkan cairan gula untuk memberi makan serbuk sari yang melekat pada kepala putik.
2. Awalnya dinding serbuk sari mengembang, kemudian dinding luar serbuk sari pecah. Dinding sebelah dalam melengkung ke dalam menembus kepala putik, kemudian membentuk buluh serbuk sari atau tabung serbuk sari. Tabung ini menghubungkan serbuk sari dengan bakal biji. Tabung serbuk sari menuju ke inti sel telur di dalam bakal biji melalui celah kecil yang disebut mikropil.

3. Selama perjalanan serbuk sari di dalam tabung sari menuju bakal biji, terjadi beberapa perubahan. Inti sel serbuk sari membelah menjadi dua, yakni inti vegetatif dan inti generatif. Inti vegetatif berfungsi untuk mengatur pertumbuhan tabung serbuk sari sehingga mencapai mikrofil dan setelah itu inti vegetatif mati. Inti generatif membelah lagi menjadi dua inti sperma. Dua inti sperma yang terbentuk ini akan masuk ke ruang bakal biji melalui mikropil.
4. Di dalam ruang bakal biji atau kandung lembaga, terjadi proses untuk membentuk sel telur (ovum). Sel induk megaspora mengalami pembelahan meiosis menghasilkan satu sel megaspora dan tiga sel lainnya berdegenerasi. Selanjutnya sel megaspora (kandung embrio muda) mengalami pembelahan (mitosis) tiga kali yang menghasilkan 8 inti sel, yang terdiri dari 1 inti sel telur, 2 inti sinergid, 3 antipoda dan 2 inti kandung lembaga primer (kemudian bersatu membentuk inti kandung lembaga sekunder) yang bersifat diploid ($2n$). Inti sel diapit oleh 2 inti sinergid dan letaknya dekat mikropil. Sedangkan 3 antipoda terletak pada kutub yang berlawanan dengan mikropil. Inti kandung lembaga primer terletak di tengah, di antara sel telur dan antipoda.
5. Inti sperma pertama akan membuahi sel telur membentuk zigot (lembaga). Peristiwa pembuahan ini disebut pembuahan pertama. Zigot kemudian tumbuh menjadi embrio. Inti sperma yang kedua melebur dengan inti kandung lembaga sekunder membentuk endosperm yang bersifat triploid ($3n$). Peristiwa pembuahan ini disebut pembuahan kedua. Endosperm merupakan cadangan makanan bagi lembaga atau embrio. Pembuahan terjadi dua kali, maka proses pembuahan pada tumbuhan biji sering disebut dengan pembuahan ganda.
6. Dengan berakhirnya pembuahan, maka sisa benang sari, mahkota, dan kelopak bunga akan layu dan gugur. Bakal biji berkembang menjadi biji dan dilindungi oleh dinding bakal buah, dan selanjutnya bakal buah berkembang menjadi buah.

BAB 7

PERKEMBANGAN BUAH

Saat terjadi pembelahan sel diperlukan zat-zat atau senyawa organik. Pada perkembangan buah ini sangat ditentukan akumulasi senyawa organik metabolik yang cukup. Jika persediaannya terbatas, maka perkembangan buah akan terganggu (rontok). Jika tersedia cukup senyawa organik metabolik, maka ukuran buah besar dan jumlahnya banyak.

Ketersediaan senyawa organik metabolit di dalam tubuh tanaman dipengaruhi oleh faktor, yaitu:

- Kemampuan tanaman untuk membentuk karbohidrat (ditentukan oleh *photosintetic capacity*),
- Periode perkembangan buah dari kecil sampai maksimum disebut periode pengisian buah (*fruit filling period/grain filling period*),
- Periode pengisian buah harus terjadi pada saat dimana periode hasil fotosintesis maksimum,
- Kemampuan tanaman untuk menyimpan fotosintat yang tinggi (*hight story capacity*),
- Hasil fotosintat harus terbagi pada tempat yang tepat di dalam tubuh tanaman.

7.1. Kemampuan membentuk karbohidrat (*photosintentic capacity*)

Photosintetic capacity dipengaruhi oleh:

- Tergantung pada jenis tanaman (C_3 atau C_4).

Mana yang lebih tinggi fotosintat capacitynya? Tanaman C_4 lebih tinggi, karena memiliki beberapa sifat:

- ✓ Tidak cepat mencapai kejenuhan intensitas cahaya (10.000-12.000 *foot candle*),
- ✓ Kemampuan mengasimilir CO_2 yang lebih besar (40-80 mg/dm² luas daun/jam) menjadi karbohidrat (C_3 : 15-35 mg/dm² luas daun/jam),
- ✓ Titik kompensasi terhadap CO_2 lebih rendah (0-10 ppm),
- ✓ Fotorespirasinya kecil sekali (sukar dideteksi).

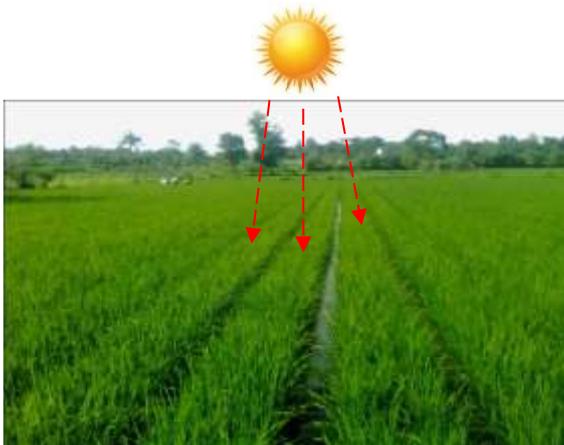
Keterangan:

Fotorespirasi memerlukan substrat tertentu yaitu asam glikolat → di dalam tanaman dari RuDP diperoleh dengan cara oksidasi. RuDP adalah senyawa yang

menangkap CO_2 dalam reaksi gelap. Jumlah RuDP semakin besar, maka pembentukan karbohidrat semakin tinggi. Pada tanaman C_3 , RuDP dirubah menjadi asam glikolat, sedangkan pada tanaman C_4 , asam glikolat tidak dioksidir, karena siklus Kelvin terjadi *bundle seat cell* sehingga terlindung. Pada tanaman C_4 yang menangkap CO_2 adalah PEP.

b. Sifat kanopi tanaman (arsitektur tanaman/*crop canopy/crop architecture*).

Sifat kanopi tanaman dapat berpengaruh terhadap kapasitas fotosintesis, karena berpengaruh pada penetrasi cahaya dalam kanopi dan distribusinya di dalam mahkota.



Cahaya masuk ke mahkota daun dan mengadakan pembagian. Adanya penetrasi dan distribusi yang baik, daun-daun yang di bagian bawah mahkota akan mendapatkan intensitas cahaya yang tinggi sama dengan bagian atas sehingga dapat melakukan fotosintesis yang maksimal.

Gambar 7.1. Sifat Kanopi Tanaman Padi

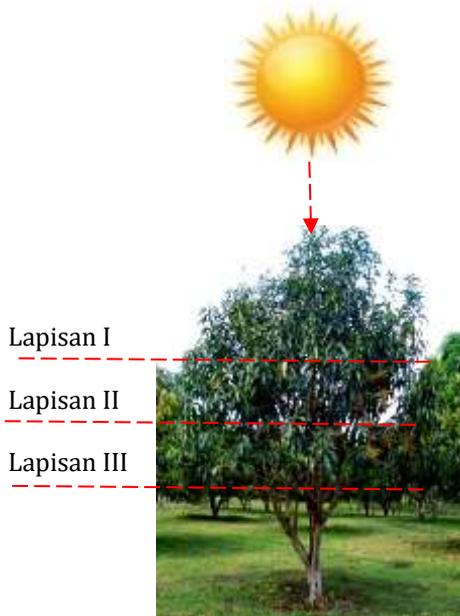
Faktor-faktor arsitek yang berpengaruh terhadap intensitas cahaya:

1) Kerapatan daun di dalam mahkota

- ✓ Jika tanaman daunnya rapat dalam mahkota, maka penetrasi makin jelek. Dan jika jarang sebaran daunnya, maka penetrasi semakin baik,
- ✓ Makin rapat mahkota daun, maka hambatan intensitas cahaya semakin besar. Jika semakin longgar kerapatan daun, maka hambatan intensitas cahaya oleh mahkota daun semakin kecil,
- ✓ Penetrasi dan distribusi intensitas cahaya dalam mahkota tanaman bersifat eksponensial artinya penetrasi dan ditribusi merupakan fungsi dari kerapatan daun dalam mahkota tanaman,

- ✓ Untuk menunjukkan hambatan penetrasi dan distribusi diberi simbol K dan dinyatakan %.

Contoh:



- $K = 50\%$ ($K = 0,5$), artinya kerapatan mahkota tanaman tersebut akan menimbulkan hambatan penetrasi dan distribusi sebesar 50% dari cahaya yang datang.
- Daun-daun pada lapisan I akan menimbulkan hambatan 50% terhadap sinar yang akan masuk lapisan II.
- Daun-daun pada lapisan II akan menimbulkan hambatan 50% pada lapisan III.
- Pada lapisan I = $0,5 \text{ g cal/cm}^2/\text{menit}$, lapisan II = $0,25 \text{ g cal/cm}^2/\text{menit}$, lapisan III = $0,125 \text{ g cal/cm}^2/\text{menit}$, sehingga kemampuan daun pada lapisan III lebih kecil lagi.

Gambar 7.2. Sifat Kanopi Tanaman Mangga

2) Kedudukan daun di dalam mahkota

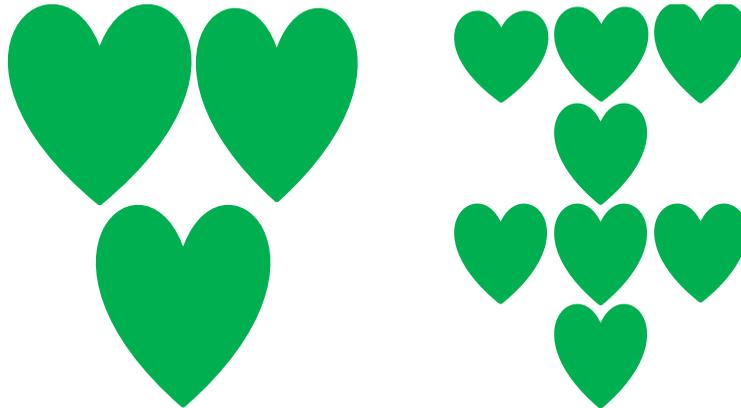
Kedudukan daun yang berbentuk horizontal akan mempengaruhi penetrasi dan distribusi (menaungi posisi daun di bawahnya). Jika daun berbentuk *erect* akan lebih baik karena kemungkinan tiap daun mendapatkan penyinaran yang tinggi (contoh: padi IR). Jika penetrasi dan distribusi cahaya baik, maka tiap-tiap helai daun akan mendapatkan penyinaran penuh sehingga total fotosintesis tinggi dan akibatnya kemampuan produksinya tinggi.



Gambar 7.3. Perbedaan Sifat Kanopi Tanaman

3) Ukuran daun

Perbedaan ukuran daun tanaman seperti Gambar 7.4 berikut.



Gambar 7.4. Perbedaan Ukuran Daun

- ✓ Tergantung dari nilai LAI, sebab ukuran daun (besar atau kecil) berhubungan dengan LAI,

- ✓ Mahkota tanaman yang ukuran daunnya kecil dibandingkan lebar, lebih baik ukuran daun yang kecil-kecil,
- ✓ Luas daun dinyatakan dalam LAI (*leaf area index*), makin bertambah umur LAI makin bertambah,
- ✓ Jika dihubungkan LAI dengan penetrasi dan distribusi, LAI bisa sama tetapi penetrasi dan distribusi bisa berbeda,
Pada LAI yang makin besar, ukuran daun makin kecil akan berpengaruh baik pada penetrasi dan distribusi cahaya.

4) Bentuk daun

- ✓ Daun yang berbentuk lekuk dapat memberikan kemungkinan penetrasi dan distribusi yang semakin baik



Gambar 7.5. Perbedaan Bentuk Daun

7.2. Periode Pengisian Buah (*Fruit Filling Periode*)

Periode pengisian buah diperlukan karbohidrat cukup yang harus jatuh bersamaan dengan saat tercapainya proses fotosintesis secara maksimal.

Fruit filling periode pada perkembangan buah terjadi beberapa peristiwa:

- 1) Terjadi penambahan banyak sel, terjadi karena beberapa proses pembelahan sel. Sel yang membelah mula-mula kecil, maka diperlukan pembentangan sel atau perpanjangan sel dan diferensiasi.
- 2) Saat pembesaran sel diperlukan senyawa organik metabolik, terutama karbohidrat.



Gambar 7.6. Tanaman Pepaya California

Kecepatan fotosintesis tanaman dari awal sampai akhir tidak sama. Pada saat tertentu terjadi fotosintesis maksimal. Fotosintesis terjadi pada daun hijau. Hasil fotosintesis tergantung jumlah/luas daun yang disebut LAI (*leaf area index*). LAI adalah jumlah luas daun dari suatu tanaman dibagi luas tanah yang dibayangi mahkota atau kanopi tanaman.

Jika luasnya 1 ha untuk menghitung LAI tanaman jagung, maka jumlah total luas daun 1 ha dibagi luas tanah 1 ha. Perkembangan tanaman dari awal sampai akhir LAI semakin besar karena jumlah daun bertambah banyak. Berarti kalau LAI bertambah, hasil fotosintesis akan bertambah, sehingga kecepatan pertumbuhan juga bertambah.

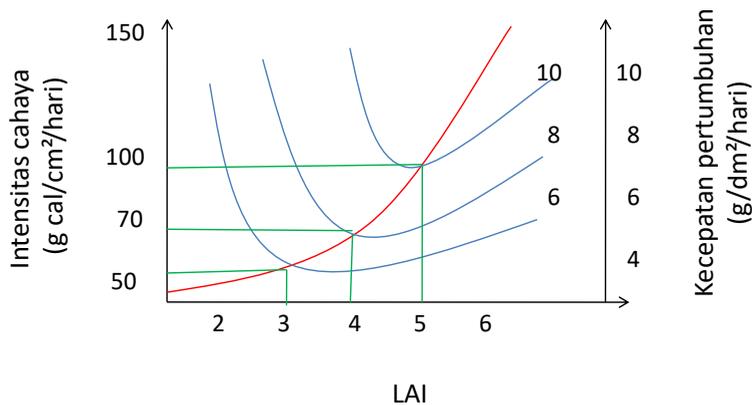
LAI optimum adalah LAI yang paling baik yang menyebabkan kecepatan fotosintesis maksimum sehingga kecepatan pertumbuhan maksimum. Kenapa LAI melebihi LAI optimum justru menjadi kurang baik? Dikarenakan akan terjadi saling menaungi antara daun yang satu dengan yang lain sehingga penetrasi dan distribusi cahaya semakin jelek. Semakin banyak daun, total fotosintesis semakin menurun sehingga kecepatan pertumbuhan semakin menurun karena sebagian daun (tidak menerima cahaya) hanya menyerap karbohidrat dari daun yang aktif melakukan fotosintesis (terkena cahaya matahari).

Nilai LAI optimum diusahakan sejauh mungkin, namun nilainya sulit diketahui (tidak tetap), tergantung dari: 1). Jenis tanaman, LAI tanaman jagung berbeda dengan tanaman tebu, dan 2). Intensitas cahaya, untuk jenis yang sama, LAI bisa berbeda

tergantung intensitas cahaya yang diterima tanaman itu. Semakin besar intensitas cahaya yang diterima, maka LAI optimum semakin besar dan sebaliknya.

Penelitian Stend dan Donat pada tanaman Cloper

Tanaman cloper ditanam dengan intensitas yang berbeda-beda sehingga diperoleh LAI sebagai berikut. Hubungan LAI optimum dengan intensitas cahaya yang diterima



Gambar 7.7. Hubungan LAI, intensitas Cahaya, dan Kecepatan Pertumbuhan

Gambar 7.7 di atas dapat dijelaskan tentang hubungan intensitas cahaya, LAI, dan kecepatan pertumbuhan:

- 6×10^{-2} g/dm² /hari.
Artinya kecepatan pertumbuhan untuk luas daun 1 dm² tiap harinya memerlukan intensitas 50 g cal/cm²/hari, LAI maksimum 3 kecepatan pertumbuhan 6×10^{-2} g/dm²/hari.
- 8×10^{-2} g/dm²/hari artinya pada intensitas 70 g cal/cm²/hari, LAI maksimum 4 dan pada saat itu kecepatan pertumbuhan 8×10^{-2} g/dm² /hari.
- Pada intensitas 100 g cal/cm²/hari, LAI optimum 5, karena LAI bertambah maka kecepatan pertumbuhan bertambah yaitu 10×10^{-2} g/dm²/hari.

Kesimpulan:

LAI optimum jenis tanaman bisa berubah tergantung intensitas cahaya yang diterima.

Intensitas cahaya matahari yang rendah diterima pada tanaman sela, sehingga LAI kecil maka harus hati-hati dalam pemupukan (misal: pemupukan N). Pupuk N mendorong vegetatif (jumlah daun) & pupuk N mempercepat bertambahnya LAI sehingga dipercepat dicapai LAI optimum. LAI optimum dipengaruhi intensitas cahaya. Jika tanaman mendapatkan intensitas cahaya yang rendah (di bawah naungan), misal intensitas $30 \text{ g cal/cm}^2/\text{hari}$ dan LAI 3, maka dia akan cepat melewati LAI optimum. LAI semakin besar akan cepat muncul *shading*.

Tanaman yang ternaung lebih peka terhadap pemupukan. LAI tidak mudah diukur, maka orang tidak melihat per individu tetapi melihat populasi karena dalam praktek orang menanam tidak hanya 1 pohon, maka yang penting mengatur jarak tanam. LAI optimum karena sulit diukur, maka kita melakukan usaha pemangkasan daun tanaman pada waktu tertentu sehingga kerapatan tanaman tidak melebihi LAI optimum.

7.3. Kemampuan menyimpan fotosintat tinggi

Stored capacity (SC) adalah kemampuan tanaman untuk menyimpan karbohidrat atau hasil fotosintesis. Tanaman yang mempunyai SC tinggi, akibatnya akumulasi organik metabolik yang besar, maka perkembangan buah yang besar pula. Hubungan SC dengan akumulasi organik metabolik: Fotosintesis menghasilkan karbohidrat (*grass photosintetic yield (GPY)/total photosintetic yield*) tidak semuanya disimpan, sebagian direspirasi, dioksidasi melalui siklus Krebs, sehingga sebagian fotosintat akan hilang. Maka *total photosintetic yield* dikurangi respirasi = *Net photosintetic yield (NPY)*. Jika NPY tinggi berarti SC tinggi.

NPY tinggi, harapannya adalah GPY yang tinggi, tetapi ini belum menjamin kalau respirasinya tinggi sehingga NPY rendah sehingga SC rendah. Kecepatan fotorespirasi 3-5 \times . Tanaman C_4 pada umumnya SC tinggi, karena fotorespirasi rendah.

7.4. Hasil fotosintesis harus terbagi pada tempat yang tepat di dalam tubuh tanaman

Hasil fotosintesis harus terbagi pada tempat yang tepat di dalam tubuh tanaman sedemikian sehingga dapat memberikan hasil yang tinggi. Kalau menanam tanaman ingin mendapatkan hasil yaitu hasil *biological yield* dan *economic yield*.

Pola distribusi asimilat yang tepat dalam tubuh tanaman ditentukan oleh:

- 1). Kecepatan fotosintesis,
- 2). Kekuatan untuk menyerap hasil fotosintesis dinamakan *sink strength*,
Source = sumber dimana terjadi fotosintesis (daun)
Sink = organ yg menerima hasil fotosintesis (akar, batang, biji, dan buah)

3). Pola hubungan vaskuler antara *source* dan *sink*.



Gambar 7.8. Hubungan vaskuler antara *source* dan *sink*

Sink strength ditentukan oleh kedudukan daun dari *sink* terhadap *source*. Sering dikatakan *sink strength* sebagai penentu sangat penting dari pola transportasi dan distribusi bahan kering pada tanaman artinya makin dekat kedudukan *sink* terhadap *source* akan makin kuat menerima asimilat, makin jauh makin berkurang. Berkaitan dengan ini, ada suatu teori yang mengatakan bahwa untuk membesarkan buah di dalam perkembangan yang berperan adalah daun yang dekat dengan buah atau biji pada tubuh tanaman.

Pola hubungan vaskuler

Pengangkutan asimilat dari *source* ke *sink* melalui sistem berkas pengangkutan tertentu (*phloem*).

Pada tanaman ada hubungan *source* dengan *sink*:

1. Penelitian pada tanaman *Beta vulgaris*
Pada tiap daun akan menyediakan asimilat pada bagian tertentu dari sistem perakaran.
2. Penelitian pada bunga matahari
Ada sistem berkas tertentu pada daun yang mensuplai pada perakaran. Jadi ada jalur hubungan vaskuler.
3. Juga pada penelitian kedelai
Polong hampir keluar dari nodus, maka daun mana yang berperan? Semuanya karena tersebar.
4. Tanaman jagung
Letak buah di tengah, jadi ada saluran tertentu yang mengisi tongkol.

BAB 8

ANALISIS PERTUMBUHAN GENERATTIF TANAMAN

8.1. Pendahuluan

Pertumbuhan generatif adalah pertumbuhan organ yang dimulai dengan terbentuknya primordia bunga hingga buah masak. Kedua proses dan fase pertumbuhan ini ditentukan oleh faktor genetik dan lingkungan (Gardner, *et. al.*, 1985) sehingga terdapat perbedaan masa dan fase antar jenis, varietas dan lingkungan yang berbeda. Kajian berikut ini akan dijelaskan cara mengukur komponen hasil untuk beberapa jenis tanaman.

8.2. Pengamatan Komponen Hasil Tanaman

Berikut contoh pengamatan beberapa variabel generatif pada berbagai jenis tanaman.



Tanaman Kopi



Tanaman Mangga



Tanaman Daun Dewa



Tanaman Padi



Buah Naga



Tanaman Cabai



Tanaman Jagung



Tanaman Melon

Gambar 8.1. Variabel Pengamatan Hasil Tanaman

Pengamatan terhadap variabel generatif:

1. Tanaman cabai

- a. Waktu berbunga (hari), diamati pada saat tanaman menunjukkan 50% sudah mengalami pembungaan.
- b. Prosentase bunga menjadi buah (%), dengan cara menghitung jumlah bunga yang dapat berkembang menjadi buah, dengan menggunakan rumus:

$$\frac{\text{Jumlah buah}}{\text{Jumlah bunga}} \times 100\%.$$

- c. Panjang buah (cm), diukur dari pangkal buah hingga ujungnya dengan penggaris.
- d. Diameter buah (cm), diukur pada bagian tengah buah dengan menggunakan jangka sorong atau meteran
- e. Jumlah buah per tanaman dihitung dari panen pertama hingga panen terakhir.
- f. Bobot per buah (g), diukur dengan menimbang bobot buah setiap buah dengan timbangan digital.
- g. Bobot buah per tanaman (kg) dihitung dengan menjumlahkan bobot segar buah awal panen hingga akhir panen.
- h. Bobot buah per hektar (ton/ha), dihitung dengan cara menimbang hasil bobot buah cabai hasil ubinan pada setiap petak perlakuan, kemudian dikonversi ke luasan 1 ha untuk mengetahui hasil bobot buah cabai per hektar pada setiap perlakuan.
- i. Indeks panen (IP) dengan membandingkan bobot segar buah cabai per tanaman dan total bobot segar tanaman (termasuk bobot buahnya), dengan menggunakan rumus:

$$IP = \frac{\text{Bobot segar buah cabai}}{\text{Bobot segar seluruh tanaman (termasuk buahnya)}}$$

2. Tanaman Melon

- a. Waktu berbunga (hari) (penjelasan idem cabai),
- b. Diameter buah (cm) (penjelasan idem cabai),
- c. bobot per buah (kg) (penjelasan idem cabai),
- d. ketebalan daging buah (cm), diukur dari kulit bagian dalam buah hingga daging buah terdalam,
- e. Indeks panen (IP) dengan membandingkan bobot segar buah melon per tanaman dan total bobot segar tanaman (termasuk bobot buahnya), dengan menggunakan rumus:

$$IP = \frac{\text{Bobot segar buah melon}}{\text{Bobot segar seluruh tanaman (termasuk buahnya)}}$$

- f. Kadar gula (mg/g), dihitung dengan menggunakan alat Refractometer Brix.

3. Tanaman jagung

- Waktu berbunga (hari) (penjelasan idem cabai),
- Panjang tongkol (cm), diukur buah jagung berkelobot dari pangkal tongkol hingga ujung tongkolnya,
- Keliling tongkol (cm), diukur dengan melingkarkan meteran pada bagian tengah tongkol jagung,
- Bobot tongkol tanpa kelobot (g), dengan cara menimbang bobot tongkol setelah dibersihkan dari kelobotnya dengan menggunakan timbangan digital,
- Bobot biji kering per tongkol (g), dengan cara menimbang seluruh biji setelah dilepaskan dari janggelnnya dengan menggunakan timbangan digital,
- Bobot 1000 biji kering (g), dengan cara menimbang 1000 biji jagung dengan menggunakan timbangan digital.

4. Tanaman kopi

- Jumlah dompol per cabang,
- Jumlah buah per dompol (butir),
- Bobot per dompol (g),
- Bobot 100 biji (g),
- Diameter buah (mm),
- Bobot buah per tanaman (kg).

5. Tanaman padi

- Jumlah malai per rumpun,
- jumlah biji per malai,
- Prosentase biji hampa per malai,
- Bobot 100 butir biji (g).

8.3. Cara Pengamatan dengan Menggunakan Petak Ubinan

Ubinan adalah luasan yang umumnya berbentuk empat persegi panjang atau bujur sangkar (untuk mempermudah perhitungan luas) yang dipilih untuk mewakili suatu hamparan pertanaman yang akan diduga produktivitasnya (hasil tanaman per hektar tanpa pematang), dengan cara menimbang hasil dari ubinan (kg/ubinan) dikali 10.000 m² dibagi luas ubinan yang digunakan (m²).

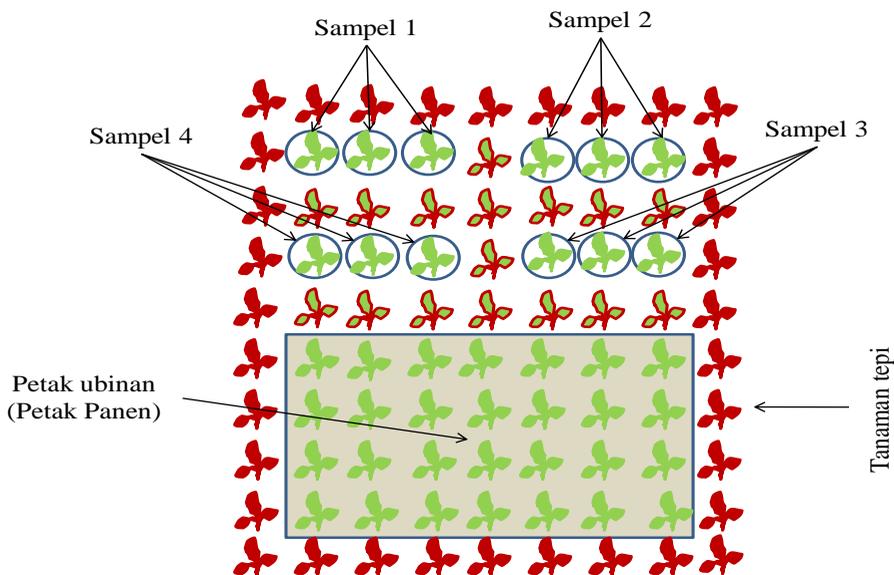
Ubinan yang benar dicirikan dengan apabila ubinan diperbanyak secara bersambung ke kanan-kiri atau depan-belakang (pada pertanaman berjarak tanam beraturan), maka jumlah rumpun tanaman atau populasinya akan merupakan kelipatan dari jumlah rumpun dalam ubinan semula.

8.3.1. Tanaman kacang tanah

Pengamatan untuk komponen hasil saat panen (akhir pengamatan) dilakukan pada petak ubinan bukan tanaman sampel (tanaman korban). Sampel tanaman diambil dari petak ubinan dan tidak boleh menggunakan tanaman tepi atau yang menjadi tanaman di tepi atau pagar (*border plant*).

Gambar 8.2 dapat dijelaskan bahwa pengamatan secara periodik (misal interval pengamatan 3 MST) dilakukan sebanyak 4 kali pengamatan dengan menggunakan tanaman korban sebanyak 3 sampel. Jumlah tanaman yang dipanen akhir pengamatan diambil dari petak ubinan sebanyak 28 tanaman. Untuk mengetahui hasil per satuan luas (ha) dikonversikan hasil dari pengamatan pada petak ubinan.

Untuk lebih jelasnya, cara pengamatan tanaman semusim dapat dilihat pada Gambar 8.2 berikut.

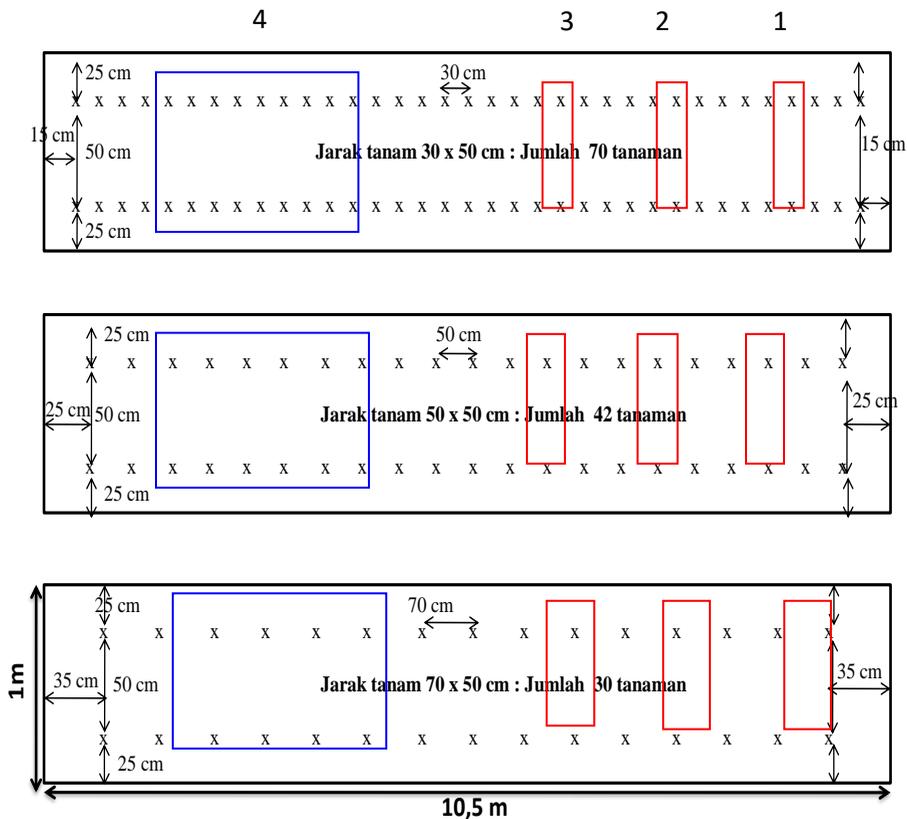


Gambar 8.2. Pengamatan Panen Diambil dari Petak Ubinan

8.3.2. Tanaman cabai

Cara pengamatan untuk tanaman cabai yang ditanam pada petak hanya dengan dua baris tanaman. Pengamatan secara periodic dilakukan pada sampel nomor 1, 2 dan 3, sedangkan pengamatan akhir penelitian dilakukan pada petak ubinan. Petak ubinan yaitu petak nomor 4. Sementara tanaman tepi (*border plant*) tidak ada.

Ukuran petak ubinan pada masing-masing jarak tanam luasnya berbeda demikian juga jumlah tanaman. Jika bisa diusahakan luas petak ubinan sama luasnya. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 8.3.



Gambar 8.3. Cara Pengamatan Tanaman Sampel dan Ubinan pada Tanaman Cabai

Keterangan:

Luas petak ubinan (kotak warna biru) untuk Jarak tanam

- $50 \times 30 \text{ cm} = 3,6 \text{ m}$ ($30 \text{ cm} \times 12 \text{ tanaman}$) $\times 1 \text{ m} = 3,6 \text{ m}^2 = 24 \text{ tanaman}$
- $50 \times 50 \text{ cm} = 3,5 \text{ m}$ ($50 \text{ cm} \times 7 \text{ tanaman}$) $\times 1 \text{ m} = 3,5 \text{ m}^2 = 14 \text{ tanaman}$
- $50 \times 70 \text{ cm} = 3,5 \text{ m}$ ($70 \text{ cm} \times 5 \text{ tanaman}$) $\times 1 \text{ m} = 3,5 \text{ m}^2 = 10 \text{ tanaman}$
- Kotak warna merah dengan nomor 1, 2, 3 adalah tanaman korban pada pengamatan umur tanaman cabai 21, 42, dan 63 HST.
- Kotak warna biru dengan nomor 4 adalah petak ubinan untuk akhir pengamatan umur tanaman cabai 105 HST.

Untuk mengetahui hasil buah cabai per hektar digunakan konversi dari hasil bobot buah per petak ubinan.

8.4. Cara Analisis Komponen Hasil

8.4.1. Indeks panen

Indeks panen (IP) = *harvest index (HI)* adalah kemampuan tanaman menyalurkan asimilat, tanpa satuan dengan rumus:

$$IP = \frac{\text{Hasil ekonomi}}{\text{Hasil biologi}}$$

Contoh:

Tanaman jagung dengan bobot kering total (hasil biologi: akar, batang, daun, klobot, janggol dan biji) rata-rata 0,5 kg per tanaman. Tanaman jagung yang ditanam hanya menghasilkan satu tongkol. Bobot kering pipilan (hasil ekonomi) per tongkol rata-rata 0,1 kg. Berapa indeks panennya?

Jawab:

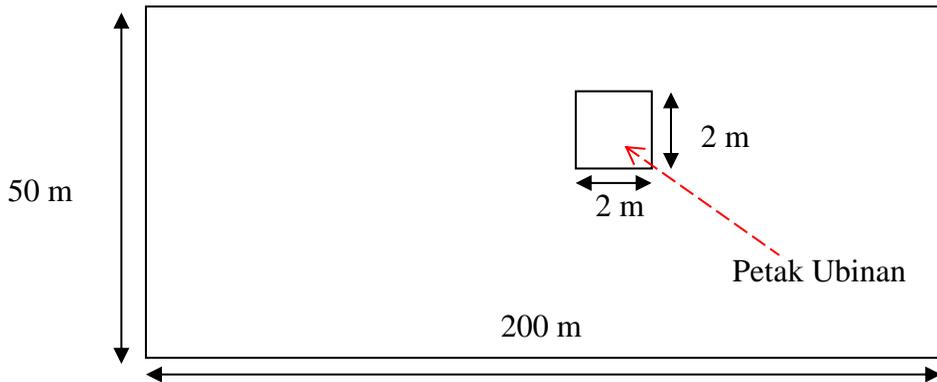
Hasil biologi = 0,5 kg (bobot keseluruhan tanaman termasuk buah) dan hasil ekonomi = 0,1 kg, maka indeks panen (IP) = $\frac{0,1}{0,5} = 0,2$

8.4.2. Konversi hasil per satuan luas

Hasil per hektar dapat dihitung melalui konversi dari hasil tanaman per petak ubinan (m^2) ke hektar (10.000 m^2).

Contoh 1:

Hasil gabah kering padi sebesar 6 kg diperoleh dari petak ubinan seluas 4 m². Dianggap dalam satu hamparan lahan tidak ada lahan yang hilang. Berapa gabah kering padi apabila luas lahan tanaman padi seluas 1 hektar?



Gambar 8.4. Konversi Hasil per Satuan Luas pada Lahan tanpa Parit

Diketahui:

Luas lahan 1 ha = 10.000 m² dan di sampling dengan petak ubinan seluas 4 m² dengan hasil gabah kering 6 kg.

Ditanyakan:

Berapa bobot gabah kering untuk luasan lahan 1 hektar atau 10.000 m² ?

Jawab:

$$\text{Hasil per ha} = \frac{6 \text{ kg}}{4 \text{ m}^2} = \frac{X \text{ kg}}{10.000 \text{ m}^2} \rightarrow X \text{ kg} = \frac{6 \text{ kg} \times 10.000 \text{ m}^2}{4 \text{ m}^2}$$

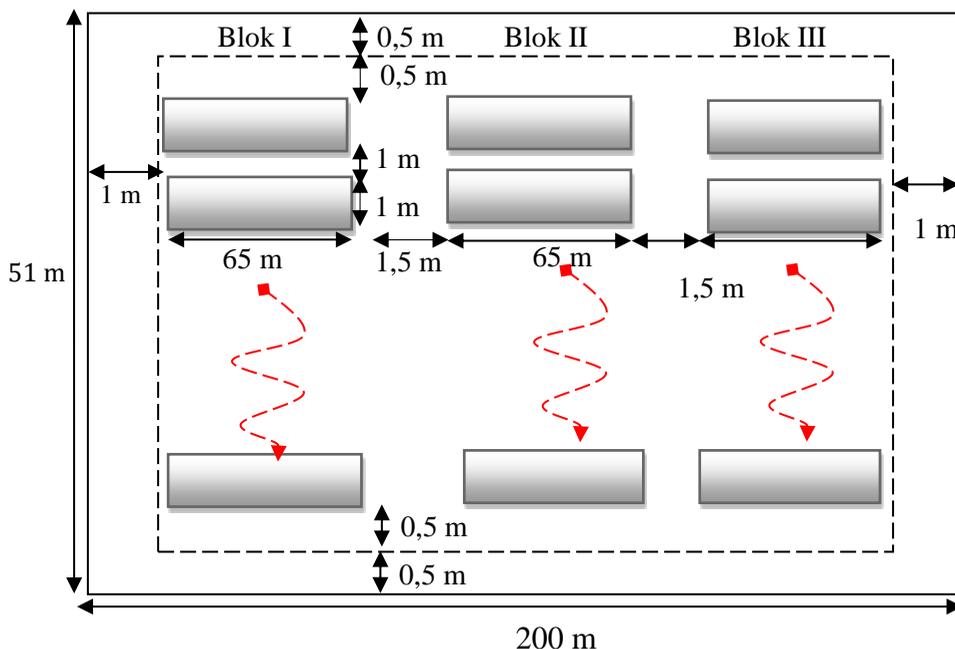
$$X \text{ kg per ha} = \frac{60.000}{4} = 15.000 \text{ kg per ha atau } 15 \text{ ton per ha}$$

Contoh 2.

Sistem tanam pada tanaman padi berbeda dengan tanaman hortikultura. Tanaman hortikultura biasanya di tanam di atas bedengan, tentu di sini ada lahan yang hilang untuk selokan antar bedengan (parit) dan selokan drainasi (pembuangan).

Gambar 5.5 menunjukkan lebar lahan 51 m dan panjangnya 200 m akan dimanfaatkan untuk budidaya tanaman melon. Lebar lahan efektif yaitu dikurangi 0,5 x 2 (dua sisi samping) untuk selokan sehingga sisa lebarnya = (50 - 1) m = 50 m. Lebar

bedengan direncanakan 1 m dan jarak antar bedengan (selokan) 1 m, sehingga lebar bedengan ditambah jarak antar bedengan = $1 + 1 \text{ m} = 2 \text{ m}$. Jumlah bedengan dapat dibuat sebanyak $(50 \text{ m} \text{ dibagi } 2 \text{ m}) = 25$ bedengan dalam satu blok.



Gambar 8.5. Konversi Hasil per Satuan Luas pada Lahan dengan Parit

Panjang lahan 200 m dan dibagi menjadi 3 blok. Jarak antar blok 1,5 m dan jarak dengan kedua tepi lahan 1 m sehingga panjang lahan efektif sebesar $200 \text{ m} - (1,5 \times 2) \text{ m} - (1 \times 2) \text{ m} = 195 \text{ m}$, sehingga panjang bedengan pada setiap blok = $(195 \text{ m} \text{ dibagi } 3 \text{ blok}) = 65 \text{ m}$. Jumlah bedengan untuk 3 blok yaitu: $25 \text{ bedengan} \times 3 = 75 \text{ bedengan}$. Luas bedengan = $1 \text{ m} \times 65 \text{ m} = 65 \text{ m}^2$. Luas lahan efektif yaitu $65 \text{ m}^2 \times 75 \text{ bedengan} = 4.875 \text{ m}^2$

Tanaman melon ditanam dengan jarak tanam $50 \times 60 \text{ cm}$ pada lahan seluas $51 \text{ m} \times 200 \text{ m} = 10.200 \text{ m}^2$. Berapa jumlah tanaman dalam 1 bedengan jika ditanam sebanyak 2 baris tanaman dalam bedengan? Berapa bobot buah per hektar, jika rerata hasil per bedengan sebesar 300 kg?

Jawab:

Jarak tanam dalam bedengan 60 cm (0,6 m), sehingga jumlah tanaman dalam 1 baris = $(65 \text{ m}/0,6 \text{ m}) = 108$ tanaman. Untuk 2 baris tanaman dalam 1 bedengan = 108 tanaman/baris \times 2 baris = 216 tanaman. Jumlah keseluruhan tanaman yaitu 216 tanaman/bedengan \times 75 bedengan = 16.200 tanaman. Bobot buah per hektar = 300 kg per bedengan \times 75 bedengan = 22.500 kg atau 22,5 ton per ha.

BAB 9

HUBUNGAN PERTUMBUHAN DAN HASIL TANAMAN

9.1. Pendahuluan

Analisis lintasan atau jalur (*path analysis*) dapat digunakan untuk mengetahui pola hubungan antara komponen pertumbuhan dan hasil tanaman. Pengaruh langsung dari komponen pertumbuhan terhadap hasil tanaman yang diamati dapat diukur melalui model lintasan. Hasil ekonomi tanaman dapat berupa daun, bunga, batang, akar dan buah.

Misal hasil tanaman berupa buah, maka komponen hasil berupa bobot buah. Bobot buah yang terbentuk merupakan kontribusi pengaruh langsung dan tidak langsung dari beberapa karakter fisiologis dan agronomis yang terjadi secara simultan dan terus menerus.

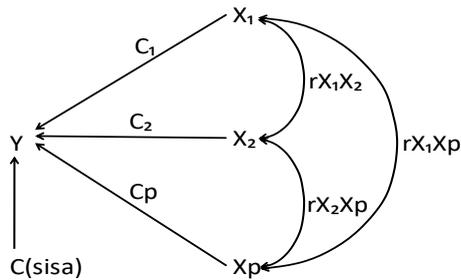
Menurut Singh dan Chaudhari (1979) bahwa kekuatan hubungan, dukungan serta besarnya kontribusi karakter fisiologis dan agronomis terhadap bobot buah diketahui dengan melakukan analisis jalur. Analisis jalur menunjukkan hubungan secara simultan dari pengaruh komponen pertumbuhan dan hasil terhadap bobot buah per tanaman.

9.2. Hubungan antar Komponen Pertumbuhan dan Hasil

Dimisalkan, pola hubungan komponen pertumbuhan dan hasil terhadap bobot buah cabai per tanaman diketahui dengan analisis korelasi antar parameter.

Diandaikan Y (bobot buah per tanaman) merupakan fungsi dari X_1 (tinggi tanaman), X_2 (diameter batang), ..., X_p (panjang akar). Faktor C_1, C_2, \dots, C_p secara berurutan menggambarkan besaran dari pengaruh langsung X_1, X_2, \dots, X_p terhadap Y . Pengaruh tidak langsung X_1 terhadap Y melalui X_2 adalah C_2 , pengaruh tidak langsung X_1 terhadap Y melalui X_p adalah C_p , dan sebaliknya pengaruh tidak langsung X_2 terhadap Y dan X_p terhadap Y . $C(\text{sis})$ merupakan pengaruh faktor lain yang tidak terdeteksi (sisaan).

Diagram lintasan pengaruh komponen pertumbuhan dan hasil terhadap bobot buah per tanaman dapat dilihat pada Gambar 9.1.



Gambar 9.1. Diagram Analisis Lintasan antar Variabel Bebas dan Tergantung

Analisis lintasan didasarkan pada analisis korelasi antar variabel. Dua variabel yang berkorelasi secara erat tidak harus saling tergantung. Jika dua variabel saling tergantung, maka korelasinya tinggi, tetapi jika terdapat korelasi yang tinggi di antar dua variabel tidak berarti bahwa kedua variabel tidak saling tergantung.

Untuk mengetahui hubungan antar variabel bebas X_i dan X_j ($i, j = 1, 2, \dots, p$), maka dilakukan analisis korelasi. Korelasi antar variabel X_i dan X_j dapat ditentukan melalui formula sebagai berikut:

$$r_{X_iX_j} = \frac{n \sum X_i X_j - (\sum X_i)(\sum X_j)}{\sqrt{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2} \sqrt{n \sum X_j^2 - (\sum X_j)^2}}$$

Keterangan:

- $r_{X_iX_j}$ = Korelasi antara variabel bebas X_i dan X_j ,
- X_i = Variabel bebas X_i ($i = 1, 2, 3, \dots, n$),
- X_j = Variabel bebas X_j ($j = 1, 2, 3, \dots, n$),
- n = Jumlah sampel pengamatan.

Dengan analisis korelasi sederhana, maka dapat dilakukan analisis lintasan dengan membangun gugusan persamaan simultan dari variabel korelasi antar variabel bebas. Menurut Gasversz (1992) gugusan persamaan simultan, yaitu:

$$\begin{aligned} C_1 r_{X_1X_1} + C_2 r_{X_1X_2} + \dots + C_p r_{X_1X_p} &= r_{X_1Y} \\ C_1 r_{X_2X_1} + C_2 r_{X_2X_2} + \dots + C_p r_{X_2X_p} &= r_{X_2Y} \\ &\vdots \\ C_1 r_{X_pX_1} + C_2 r_{X_pX_2} + \dots + C_p r_{X_pX_p} &= r_{X_pY} \end{aligned}$$

Berikutnya nilai C_1, C_2, \dots, C_p dapat dihitung dengan invers matriks berikut:

$$\begin{pmatrix} \Gamma_{X_1X_1} & \Gamma_{X_1X_2} & \Gamma_{X_1X_3} & \dots & \Gamma_{X_1X_p} \\ \Gamma_{X_2X_1} & \Gamma_{X_2X_2} & \Gamma_{X_2X_3} & \dots & \Gamma_{X_2X_p} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \Gamma_{X_pX_1} & \Gamma_{X_pX_2} & \Gamma_{X_pX_3} & \dots & \Gamma_{X_pX_p} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} C_1 \\ C_2 \\ \vdots \\ C_p \\ \underline{C} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \Gamma_{X_1Y} \\ \Gamma_{X_2Y} \\ \vdots \\ \Gamma_{X_pY} \\ \underline{Ry} \end{pmatrix}$$

R_x

Atas dasar persamaan matriks di atas, maka vektor koefisien lintasan \underline{C} dapat ditentukan dengan rumus:

$$Ry = R_x * \underline{C}$$

Keterangan:

R_x = Matriks korelasi antar variabel bebas dalam model regresi berganda dengan n buah variabel bebas, yang merupakan matriks dengan elemen-elemen $R_{x_{ij}}$ ($i, j = 1, 2, \dots, p$)

C = Vektor koefisien lintasan yang menunjukkan pengaruh langsung dari setiap variabel bebas yang telah dibakukan Z_i terhadap variabel tergantung.

Ry = Vektor koefisien korelasi antar variabel bebas X_i ($i = 1, 2, 3, \dots, p$) dan variabel tergantung Y .

Berdasarkan persamaan matriks di atas, secara mudah dapat ditentukan vektor lintasan dengan rumus:

$$C = R_x^{-1} * Ry$$

Keterangan:

R_x^{-1} = Invers matriks R_x

Ry = Vektor koefisien korelasi antar variabel bebas X_i dan variabel tidak bebas Y .

Jika koefisien lintasan C_i ($i = 1, 2, 3, \dots, n$) telah diperoleh, maka beberapa informasi penting akan ditemukan berdasarkan analisis lintasan, yaitu:

1. Pengaruh langsung dari variabel bebas yang dibakukan Z_i terhadap variabel tergantung Y , diukur oleh koefisien lintasan C_i .
2. Pengaruh tidak langsung dari variabel Z_i terhadap variabel tergantung Y , melalui variabel bebas Z_j , melalui variabel bebas Z_j (melalui kehadiran variabel bebas Z_j dalam model) diukur oleh besaran ($C_j r_{ij}$).

3. Pengaruh galat (*error*) atau sisaan (*residual*) yang tidak dapat dijelaskan oleh model analisis lintasan (pengaruh-pengaruh yang tidak dapat dijelaskan oleh suatu model dimasukkan sebagai pengaruh galat atau sisaan), diukur oleh besaran:

$$C^2s = 1 - \sum_{i=1}^p C_i r_{XiY}, \text{ dan } C_s = \sqrt{C^2s}.$$

Besaran C^2s pada analisis lintasan serupa dengan besaran $(1-R^2)$ dalam analisis regresi berganda, dimana keduanya memiliki nilai yang sama besar.

Analisis korelasi sebagai dasar untuk membangun bagan alir pengaruh langsung maupun tidak langsung dari komponen pertumbuhan dan hasil terhadap bobot buah. Pengamatan dilakukan terhadap 45 tanaman sampel.

Parameter komponen pertumbuhan tanaman cabai (sebagai variabel X) yang digunakan untuk analisis korelasi, yaitu: luas daun (LD), bobot daun khas (BDK), indeks luas daun (ILD), laju asimilasi bersih (LAB), laju pertumbuhan tanaman (LPT), bobot kering tanaman (BKT), tinggi tanaman (TT), diameter batang (DBT), dan panjang akar (PA).

Parameter komponen hasil (sebagai variabel X) yang digunakan untuk analisis korelasi, yaitu: diameter buah (DB), bobot per buah (BB), jumlah buah per tanaman (JB), dan indeks panen (IP).

Parameter hasil cabai (sebagai variabel Y) yang digunakan dalam analisis korelasi berupa bobot buah per tanaman (BBT).

Tabel 9.1. Data Komponen Pertumbuhan dan Hasil

| BLOK | PERL. | BDK | LD | ILD | LAB | LPT | BKT | TT | PA | DBT | IP | PB | DB | BB | JB | BBT |
|------|-------|------|--------|-------|---------|---------|--------|-------|----|------|------|------|-----|-----|------|-------|
| 1 | M1J1 | 0.75 | 329.7 | 0.22 | 0.0066 | 0.00084 | 8.89 | 90.5 | 23 | 3.7 | 0.57 | 12.3 | 7.7 | 7.6 | 4.6 | 37.5 |
| 1 | M1J2 | 0.9 | 419.7 | 0.168 | 0.00413 | 0.00042 | 11.57 | 100.5 | 20 | 3.5 | 0.66 | 12.8 | 7.2 | 7.5 | 8.3 | 65.7 |
| 1 | M1J3 | 0.98 | 419.2 | 0.12 | 0.00396 | 0.00031 | 11.74 | 83.5 | 19 | 3.3 | 0.58 | 11.3 | 7 | 7.5 | 5.4 | 44 |
| 1 | M2J1 | 1.04 | 1021.4 | 0.681 | 0.01191 | 0.00523 | 56 | 99 | 26 | 7.7 | 0.65 | 14.8 | 8 | 8.5 | 33.9 | 287.5 |
| 1 | M2J2 | 1.13 | 1483.8 | 0.594 | 0.01126 | 0.00397 | 83.66 | 91.5 | 28 | 7.3 | 0.61 | 14 | 8.7 | 8.5 | 35.9 | 300 |
| 1 | M2J3 | 1.35 | 1667.6 | 0.476 | 0.01212 | 0.00352 | 97.13 | 90 | 27 | 7.3 | 0.64 | 13.3 | 8.7 | 8.3 | 43.5 | 360 |
| 1 | M3J1 | 1.11 | 1675.2 | 1.117 | 0.00984 | 0.00796 | 85.68 | 94.5 | 26 | 7.8 | 0.7 | 13.5 | 8.7 | 8.4 | 55 | 462.5 |
| 1 | M3J2 | 1.21 | 2367.8 | 0.947 | 0.01222 | 0.00718 | 122.65 | 93 | 34 | 9 | 0.71 | 13.7 | 8.5 | 8.7 | 69.6 | 600 |
| 1 | M3J3 | 1.32 | 2897.7 | 0.828 | 0.0138 | 0.00644 | 173.12 | 90.5 | 35 | 10.3 | 0.73 | 14.1 | 8.7 | 8.6 | 106 | 900 |
| 1 | M4J1 | 0.74 | 233.5 | 0.156 | 0.00384 | 0.00044 | 6.29 | 82.5 | 20 | 2.7 | 0.58 | 12.4 | 6.7 | 7.6 | 3.3 | 25.8 |
| 1 | M4J2 | 0.82 | 305.7 | 0.122 | 0.00546 | 0.00041 | 7.17 | 75.5 | 23 | 2.7 | 0.6 | 12.2 | 7 | 7.7 | 3.8 | 30.7 |
| 1 | M4J3 | 0.91 | 351 | 0.1 | 0.00601 | 0.00037 | 9.12 | 74.5 | 23 | 2.5 | 0.44 | 10.5 | 6.2 | 8.4 | 2.2 | 20 |
| 1 | M5J1 | 0.82 | 988.7 | 0.659 | 0.00401 | 0.00181 | 27.17 | 90.5 | 27 | 6.2 | 0.64 | 14.1 | 8 | 7.9 | 20.6 | 145.8 |
| 1 | M5J2 | 1.01 | 1188.3 | 0.475 | 0.0069 | 0.00231 | 44.5 | 90 | 27 | 6.8 | 0.67 | 13.4 | 8.5 | 8.3 | 26.1 | 217.9 |
| 1 | M5J3 | 1.04 | 1549.9 | 0.443 | 0.00696 | 0.002 | 61.64 | 97.5 | 28 | 7.5 | 0.69 | 13.5 | 8.5 | 8.9 | 32.8 | 290 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|------|------|--------|-------|---------|---------|--------|------|----|------|------|------|-----|-----|-------|-------|
| 2 | M1J1 | 0.84 | 391 | 0.261 | 0.00424 | 0.00071 | 10.55 | 102 | 21 | 3.8 | 0.56 | 11.9 | 6.8 | 7.7 | 6.4 | 50 |
| 2 | M1J2 | 0.89 | 416.9 | 0.167 | 0.00495 | 0.0009 | 12.16 | 78.5 | 21 | 3.5 | 0.47 | 11.9 | 7.2 | 7.6 | 4.9 | 37.1 |
| 2 | M1J3 | 0.94 | 452.7 | 0.129 | 0.00618 | 0.00105 | 11.51 | 84.5 | 20 | 4.2 | 0.5 | 12 | 6.8 | 7.6 | 3.9 | 30 |
| 2 | M2J1 | 1.12 | 1466.5 | 0.978 | 0.01112 | 0.00678 | 63.18 | 93 | 24 | 7.2 | 0.65 | 13.5 | 8.2 | 8.5 | 34.5 | 291.7 |
| 2 | M2J2 | 1.25 | 1587.9 | 0.635 | 0.00857 | 0.00636 | 77.27 | 78 | 26 | 7.7 | 0.68 | 13.5 | 8.5 | 8.5 | 45 | 378.6 |
| 2 | M2J3 | 1.37 | 1633.3 | 0.467 | 0.00911 | 0.00699 | 86.24 | 88.5 | 29 | 8.5 | 0.68 | 13.4 | 8.2 | 8.5 | 47.2 | 400 |
| 2 | M3J1 | 1.13 | 1669.6 | 1.113 | 0.01382 | 0.01098 | 111.03 | 82 | 30 | 8.3 | 0.64 | 13.2 | 8 | 8.4 | 41.5 | 350 |
| 2 | M3J2 | 1.32 | 2040.6 | 0.816 | 0.01336 | 0.01201 | 117.53 | 85 | 35 | 8.8 | 0.76 | 13.9 | 8.5 | 8.4 | 76.6 | 642.9 |
| 2 | M3J3 | 1.33 | 2963.9 | 0.847 | 0.01161 | 0.01387 | 129.74 | 87.5 | 34 | 10.3 | 0.8 | 13.3 | 8.7 | 8.6 | 102.2 | 870 |
| 2 | M4J1 | 0.71 | 273.4 | 0.182 | 0.00333 | 0.00043 | 5.76 | 75.9 | 18 | 2.8 | 0.47 | 11.8 | 7 | 7.9 | 2.2 | 17.9 |
| 2 | M4J2 | 0.77 | 387.1 | 0.155 | 0.0047 | 0.00071 | 8.65 | 60.5 | 21 | 2.5 | 0.46 | 10.8 | 6.8 | 7.8 | 2.2 | 16.4 |
| 2 | M4J3 | 0.93 | 356.8 | 0.102 | 0.00619 | 0.00087 | 9.29 | 65 | 22 | 2.5 | 0.29 | 11 | 6.2 | 7.4 | 1.3 | 10 |
| 2 | M5J1 | 1.01 | 1000.1 | 0.667 | 0.0038 | 0.00179 | 29.41 | 95.5 | 24 | 6.7 | 0.69 | 13.2 | 8.2 | 7.9 | 21.1 | 158.3 |
| 2 | M5J2 | 1.09 | 1187.8 | 0.475 | 0.00761 | 0.0037 | 45.21 | 94.5 | 26 | 6.7 | 0.63 | 13.6 | 8.3 | 8.4 | 22.2 | 178.6 |
| 2 | M5J3 | 1.08 | 1544.5 | 0.441 | 0.01008 | 0.00562 | 59.23 | 85.5 | 30 | 6.7 | 0.62 | 12.5 | 8.5 | 9 | 22.2 | 210 |
| 3 | M1J1 | 0.88 | 229.2 | 0.153 | 0.00483 | 0.00052 | 7.97 | 73.5 | 20 | 2.5 | 0.55 | 10.2 | 7 | 7.7 | 4.4 | 34.2 |
| 3 | M1J2 | 0.75 | 533.5 | 0.213 | 0.00546 | 0.00118 | 12.44 | 91.5 | 24 | 3.8 | 0.57 | 11.8 | 6.8 | 7.5 | 7.6 | 56.4 |
| 3 | M1J3 | 0.88 | 612.8 | 0.175 | 0.00686 | 0.0016 | 13.88 | 79.5 | 26 | 3.7 | 0.45 | 11 | 7.3 | 7.7 | 4.8 | 35 |
| 3 | M2J1 | 1.09 | 1369.5 | 0.913 | 0.01089 | 0.00559 | 60.34 | 86.5 | 26 | 6.3 | 0.64 | 13.3 | 8.2 | 8.3 | 28.5 | 237.5 |
| 3 | M2J2 | 1.18 | 1576.9 | 0.631 | 0.00912 | 0.00658 | 69.68 | 85 | 27 | 7.8 | 0.72 | 12.3 | 8 | 8.5 | 44.5 | 378.6 |
| 3 | M2J3 | 1.39 | 1794.4 | 0.513 | 0.00933 | 0.00671 | 73.99 | 84.5 | 30 | 7.5 | 0.77 | 12.9 | 8 | 8.5 | 59 | 500 |
| 3 | M3J1 | 1.12 | 1769.3 | 1.18 | 0.01089 | 0.00929 | 92.18 | 90 | 28 | 8.2 | 0.73 | 14.7 | 8.8 | 8.5 | 52.9 | 450 |
| 3 | M3J2 | 1.31 | 2073.3 | 0.829 | 0.01159 | 0.01083 | 108.22 | 86.5 | 32 | 9.2 | 0.79 | 12.8 | 8.5 | 8.4 | 77.6 | 657.1 |
| 3 | M3J3 | 1.44 | 2295.9 | 0.656 | 0.01256 | 0.01203 | 114.33 | 86.5 | 35 | 8.8 | 0.82 | 13.5 | 8.7 | 8.6 | 101.8 | 870 |
| 3 | M4J1 | 0.73 | 360.9 | 0.241 | 0.00391 | 0.00059 | 6.94 | 73.7 | 18 | 2.5 | 0.37 | 9.8 | 6.3 | 7.8 | 1.9 | 14.6 |
| 3 | M4J2 | 0.85 | 377.7 | 0.151 | 0.00325 | 0.00054 | 8.55 | 80.5 | 21 | 2.8 | 0.34 | 11.6 | 6.3 | 7.9 | 2 | 15.7 |
| 3 | M4J3 | 0.98 | 381.5 | 0.109 | 0.00279 | 0.00046 | 9.99 | 74.5 | 21 | 2.8 | 0.58 | 11.1 | 6.5 | 7.7 | 5.5 | 42 |
| 3 | M5J1 | 0.87 | 1141.5 | 0.761 | 0.0036 | 0.0018 | 27.33 | 87 | 26 | 6.8 | 0.68 | 13.7 | 8 | 8.1 | 18.5 | 150 |
| 3 | M5J2 | 0.92 | 1352.5 | 0.541 | 0.00449 | 0.00269 | 45.43 | 97 | 28 | 7 | 0.7 | 13 | 8.5 | 8.5 | 26.9 | 225.7 |
| 3 | M5J3 | 1.02 | 1535.6 | 0.439 | 0.00764 | 0.00484 | 56.45 | 90 | 28 | 7.3 | 0.68 | 14 | 8.5 | 8.6 | 33.5 | 290 |

Keterangan: M = Perlakuan macam mulsa, dan J = Perlakuan jarak tanam

Tabel 5.2. Matriks Korelasi antar Komponen Pertumbuhan, Komponen Hasil serta Hasil Cabai (Perhitungan dengan Program SPSS)

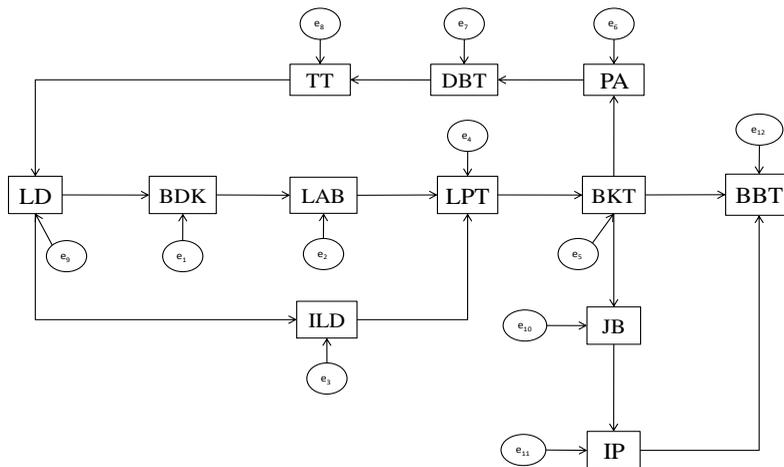
| | Rx | | | | | | | | | | | Ry | | | |
|-----|---------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | BDK | LD | ILD | LAB | LPT | BKT | TT | PA | DBT | IP | PB | DB | BB | JB | BBT |
| BDK | Pearson Correlation | 1 | 0,401** | 0,632** | 0,816** | 0,824** | 0,241 | 0,800** | 0,838** | 0,718** | 0,582** | 0,721** | 0,711** | 0,879** | 0,871** |
| | Sig. (2-tailed) | | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,003 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| LD | Pearson Correlation | 0,401** | 1 | 0,795** | 0,837** | 0,794** | 0,387** | 0,938** | 0,977** | 0,796** | 0,885** | 0,819** | 0,936** | 0,957** | |
| | Sig. (2-tailed) | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | |
| ILD | Pearson Correlation | 0,632** | 0,795** | 1 | 0,725** | 0,792** | 0,442** | 0,763** | 0,821** | 0,706** | 0,792** | 0,688** | 0,734** | 0,729** | |
| | Sig. (2-tailed) | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,002 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | |
| LAB | Pearson Correlation | 0,816** | 0,837** | 0,725** | 1 | 0,833** | 0,287** | 0,287** | 0,884** | 0,584** | 0,683** | 0,712** | 0,813** | 0,817** | |
| | Sig. (2-tailed) | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,076 | 0,090 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | |
| LPT | Pearson Correlation | 0,824** | 0,837** | 0,803** | 0,833** | 1 | 0,879** | 0,324 | 0,832** | 0,851** | 0,718** | 0,586** | 0,715** | 0,698** | |
| | Sig. (2-tailed) | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,121 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | |
| BKT | Pearson Correlation | 0,241 | 0,387** | 0,442** | 0,287** | 0,879** | 1 | 0,335** | 0,298** | 0,922** | 0,731** | 0,883** | 0,748** | 0,957** | |
| | Sig. (2-tailed) | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,024 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | |
| TT | Pearson Correlation | 0,800** | 0,938** | 0,821** | 0,884** | 0,832** | 0,335** | 1 | 0,249** | 0,537** | 0,887** | 0,672** | 0,366** | 0,323** | |
| | Sig. (2-tailed) | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,019 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,013 | 0,030 | 0,033 | |
| PA | Pearson Correlation | 0,838** | 0,977** | 0,706** | 0,584** | 0,851** | 0,298** | 0,249** | 1 | 0,286** | 0,648** | 0,881** | 0,774** | 0,835** | |
| | Sig. (2-tailed) | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,019 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | |
| DBT | Pearson Correlation | 0,718** | 0,837** | 0,803** | 0,832** | 0,922** | 0,922** | 0,896** | 0,896** | 1 | 0,846** | 0,828** | 0,816** | 0,896** | |
| | Sig. (2-tailed) | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | |
| IP | Pearson Correlation | 0,582** | 0,796** | 0,706** | 0,584** | 0,718** | 0,731** | 0,879** | 0,739** | 0,648** | 1 | 0,791** | 0,824** | 0,745** | |
| | Sig. (2-tailed) | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | |
| PB | Pearson Correlation | 0,721** | 0,885** | 0,734** | 0,819** | 0,828** | 0,883** | 0,688** | 0,828** | 0,731** | 1 | 0,848** | 0,838** | 0,837** | |
| | Sig. (2-tailed) | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | |
| DB | Pearson Correlation | 0,711** | 0,895** | 0,792** | 0,712** | 0,903** | 0,873** | 0,881** | 0,918** | 0,836** | 0,846** | 1 | 0,796** | 0,751** | |
| | Sig. (2-tailed) | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | |
| BB | Pearson Correlation | 0,711** | 0,895** | 0,808** | 0,712** | 0,908** | 0,873** | 0,846** | 0,774** | 0,828** | 0,842** | 0,838** | 1 | 0,734** | |
| | Sig. (2-tailed) | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,013 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | |
| JB | Pearson Correlation | 0,879** | 0,957** | 0,734** | 0,813** | 0,895** | 0,857** | 0,895** | 0,894** | 0,785** | 0,838** | 0,741** | 0,784** | 1 | |
| | Sig. (2-tailed) | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | |

Keterangan : n = 45 sampel tanaman, * = Korelasi nyata pada $\alpha = 5\%$, ** = Korelasi nyata pada $\alpha = 1\%$.

9.2. Bagan Alir Analisis Lintasan

Hasil analisis dengan program SPSS diperoleh matriks koefisien korelasi seperti Tabel 9.2. Berdasarkan hasil analisis tersebut dapat dicermati satu-persatu keeratan hubungan antara parameter komponen pertumbuhan (X) dan komponen hasil (X). Juga dapat dicermati hubungan keeratan antara komponen pertumbuhan maupun hasil (X) terhadap bobot buah per tanaman (Y).

Analisis lintasan disusun atas dasar logika keeratan hubungan antara parameter yang diamati di atas, maka dapat dibuat bagan alir sementara pengaruh tidak langsung dan langsung dari komponen pertumbuhan dan komponen hasil terhadap bobot buah per tanaman seperti pada Gambar 9.2.



Gambar 9.2. Bagan Alir Sementara Pengaruh Komponen Pertumbuhan dan Hasil terhadap Bobot Buah per Tanaman

Setelah bagan alir pada Gambar 9.2 dibuat, maka dilakukan analisis lintasan secara bertahap (bertingkat) sebagai berikut.

Perhitungan tahap pertama:

Analisis regresi dilakukan untuk mengetahui pengaruh variabel LD (sebagai *independent variable*) terhadap variabel BDK (sebagai *dependent variable*) berdasarkan data pengamatan pada Tabel 9.1 di atas dengan bantuan program paket SPSS dan diperoleh hasil analisis sebagai berikut:

Variables Entered/Removed^b

| Model | Variables Entered | Variables Removed | Method |
|-------|-------------------|-------------------|--------|
| 1 | LD ^a | . | Enter |

a. All requested variables entered.

b. Dependent Variable: BDK

Model Summary

| Model | R | R Square | Adjusted R Square | Std. Error of the Estimate |
|-------|-------------------|----------|-------------------|----------------------------|
| 1 | .867 ^a | .751 | .745 | .10273 |

a. Predictors: (Constant), LD

ANOVA^b

| Model | | Sum of Squares | Df | Mean Square | F | Sig. |
|-------|------------|----------------|----|-------------|---------|-------------------|
| 1 | Regression | 1.369 | 1 | 1.369 | 129.768 | .000 ^a |
| | Residual | .454 | 43 | .011 | | |
| | Total | 1.823 | 44 | | | |

a. Predictors: (Constant), LD

b. Dependent Variable: BDK

Coefficients^a

| Model | | Unstandardized Coefficients | | Standardized Coefficients | T | Sig. |
|-------|------------|-----------------------------|------------|---------------------------|--------|------|
| | | B | Std. Error | Beta | | |
| 1 | (Constant) | .759 | .028 | | 26.853 | .000 |
| | LD | .000 | .000 | .867 | 11.392 | .000 |

a. Dependent Variable: BDK

Berdasarkan hasil analisis di atas, maka diperoleh koefisien korelasi (R) yaitu 0,867 dan *Standardized Coefficients* (Beta) atau koefisien regresi atau koefisien lintasan (C) sebesar 0,867 dengan nilai t hitung 11,392 dengan nilai signifikansi

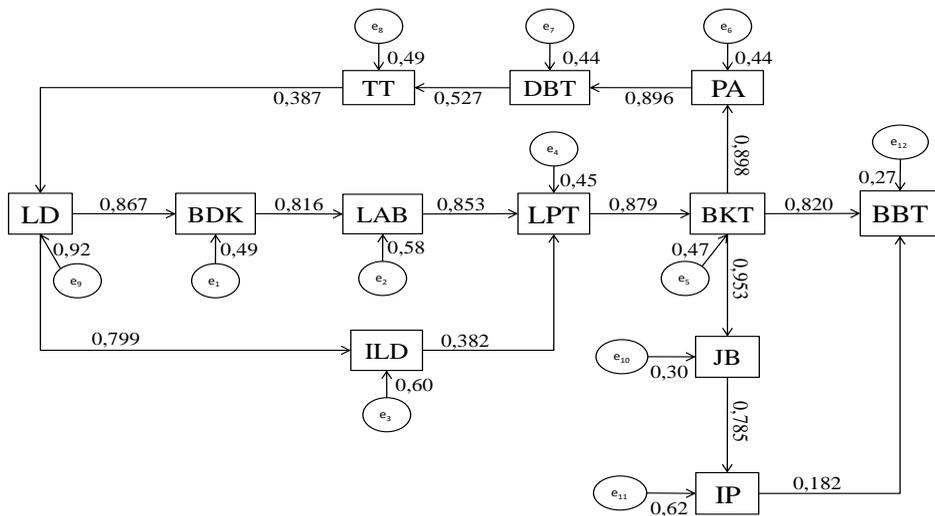
0,000. Uji signifikansi juga dapat digunakan pembanding t tabel 5% DB (residual = 43) = 2,018.

Kesimpulan:

Nilai signifikansi < 0,05 atau nilai t hitung 11,392 > 2,018, maka dapat disimpulkan bahwa luas daun (LD) berpengaruh nyata terhadap bobot daun khas (BDK). Selanjutnya hasil analisis dimasukkan ke Tabel 9.3.

Perhitungan tahap kedua dan seterusnya:

Setelaah analisis lintasan telah selesai, selanjutnya dilakukan secara bertahap sesuai pengaruh langsung atau tidak langsung seperti bagan alir Gambar 9.2. Tahap kedua yaitu menghitung pengaruh LD terhadap ILD dan seterusnya yang proses perhitungannya dapat dilakukan seperti pada perhitungan tahap pertama. Setelah selesai dilakukan perhitungan keseluruhan (hingga tahap kedua belas), maka hasil analisis lintasan seperti pada Gambar 9.3.



Gambar 9.3. Bagan Alir Analisis Lintasan Pengaruh Komponen Pertumbuhan dan Hasil terhadap Bobot Buah per Tanaman

9.3. Pengaruh Komponen pertumbuhan dan Komponen hasil terhadap Bobot Buah per Tanaman

Pengaruh langsung dan tidak langsung komponen pertumbuhan dan komponen hasil terhadap hasil cabai dapat dijelaskan pada Tabel 9.3.

Tabel 9.3. Pengaruh tidak Langsung dan Langsung Komponen Pertumbuhan dan Hasil terhadap Bobot Buah Cabai

| No | Variabel | Koefisien Lintasan (C) | T hitung | T tabel 5% | Keterangan |
|--|--------------------------|------------------------|----------|------------|------------|
| Pengaruh tidak Langsung Komponen Pertumbuhan dan komponen hasil | | | | | |
| 1. | LD terhadap BDK | | | | |
| a. | LD | 0,687 | 11,392 | 2,018 | * |
| 2. | LD terhadap ILD | | | | |
| a. | LD | 0,799 | 8,724 | 2,018 | * |
| 3. | BDK terhadap LAB | | | | |
| a. | BDK | 0,816 | 9,240 | 2,019 | * |
| 4. | LAB dan ILD terhadap LPT | | | | |
| a. | LAB | 0,573 | 5,565 | 2,019 | * |
| b. | ILD | 0,382 | 3,710 | 2,019 | * |
| 1. | LPT terhadap BKT | | | | |
| a. | LPT | 0,879 | 12,072 | 2,018 | * |
| 2. | BKT terhadap PA | | | | |
| a. | BKT | 0,898 | 13,364 | 2,018 | * |
| 3. | PA terhadap DBT | | | | |
| a. | PA | 0,896 | 13,360 | 2,018 | * |
| 4. | DBT terhadap TT | | | | |
| a. | DBT | 0,527 | 4,061 | 2,018 | * |
| 5. | TT terhadap LD | | | | |
| a. | TT | 0,387 | 2,749 | 2,018 | * |
| 6. | BKT terhadap JB | | | | |
| a. | BKT | 0,953 | 20,553 | 2,018 | * |
| 7. | JB terhadap IP | | | | |
| a. | JB | 0,785 | 8,317 | 2,018 | * |
| Pengaruh Langsung Komponen Pertumbuhan dan hasil | | | | | |
| 8. | BKT dan IP terhadap BBT | | | | |
| a. | BKT | 0,820 | 13,209 | 2,019 | * |
| b. | IP | 0,182 | 2,932 | 2,019 | * |

Keterangan: t_n = tidak beda nyata, * = beda nyata, t tabel 5% (43) = 2,108, dan t tabel 5% db (42) = 2,019.

Tabel 9.3 menjelaskan bahwa LD berpengaruh positif dan nyata terhadap ILD dan BDK. LD semakin luas menyebabkan ILD semakin tinggi dan BDK semakin tinggi atau daun semakin tebal. BDK berpengaruh positif terhadap LAB. Daun yang semakin tebal menyebabkan jumlah klorofil per satuan luas daun semakin banyak. Klorofil adalah zat hijau daun yaitu tempat terjadinya proses fotosintesis yang akan menghasilkan fotosintat. Semakin banyak klorofil daun menyebabkan fotosintat yang dihasilkan lebih banyak, terbukti mempengaruhi LAB semakin tinggi.

LAB dan ILD berpengaruh positif dan nyata terhadap LPT. Disamping itu, LAB dan ILD juga berpengaruh positif terhadap LPT. Semakin besar LAB dan ILD menyebabkan LPT semakin tinggi, sehingga tanaman akan mampu membentuk atau menyimpan bahan kering per satuan waktu lebih tinggi. Oleh sebab itu, LPT mempunyai pengaruh nyata dan positif terhadap BKT.

Tabel 9.3 menunjukkan BKT berpengaruh nyata terhadap PA. BKT mendukung pertumbuhan PA. Semakin tinggi BKT yang dihasilkan tanaman mampu mendukung pertumbuhan sel meristematis pada ujung akar untuk tumbuh memanjang. PA berpengaruh nyata terhadap DBT yang semakin besar. Akar semakin panjang akan mendukung pertumbuhan DB ke arah lateral atau membesar. DBT berpengaruh positif dan nyata terhadap TT. Semakin besar DBT akan mampu menopang ukuran batang yang semakin tinggi. TT berpengaruh nyata terhadap LD tanaman. Semakin tinggi tanaman semakin banyak jumlah daun yang menyebabkan luas daun semakin luas.

BKT berpengaruh nyata terhadap JB per tanaman. Semakin tinggi BKT akan mendukung JB per tanaman yang terbentuk semakin banyak. JB berpengaruh nyata terhadap IP. Semakin tinggi JB menyebabkan IP semakin tinggi. IP berpengaruh positif dan nyata terhadap BBT. IP semakin tinggi menyebabkan BBT semakin tinggi pula. BKT berpengaruh positif dan nyata terhadap BB per tanaman. Semakin tinggi BKT menyebabkan semakin tinggi BBT.

BAB 10

KERAPATAN TANAMAN

10.1. Pendahuluan

Kerapatan tanam berhubungan dengan populasi tanaman yang tak dapat dipisahkan dengan produksi yang akan diperoleh dari luas lahan per hektar, karena kerapatan tanam dan efisiensi penggunaan cahaya, juga mempengaruhi persaingan antara tanaman dalam menggunakan air dan unsur hara. Pada umumnya, produksi tiap satuan luas yang tinggi tercapai dengan populasi tinggi, karena tercapainya penggunaan sinar matahari, air dan unsur hara secara maksimum di awal pertumbuhan. Penampilan masing-masing tanaman secara individu menurun karena adanya persaingan untuk mendapatkan sinar matahari, air dan unsur hara. Kerapatan tanaman optimum hanya dapat ditentukan dengan mengetahui potensi produksi pada beberapa kerapatan tanaman.

Sarana pertumbuhan yang sering menjadi pembatas dan menyebabkan terjadinya persaingan diantaranya air, nutrisi, cahaya, karbon dioksida (CO₂), dan ruang. Persaingan terhadap air dan nutrisi pada umumnya lebih berat karena terjadi pada waktu yang lebih awal. Faktor utama yang mempengaruhi persaingan antar jenis tanaman yang sama di antaranya kerapatan tanaman. Pengaruh persaingan dapat dilihat pada laju pertumbuhan, warna daun atau kadar klorofil, serta komponen hasil.

10.2. Kompetisi antar Tanaman

Salah satu bentuk interaksi antara satu populasi dengan populasi lain atau antara satu individu dengan individu lain adalah bersifat persaingan. Kompetisi (persaingan) terjadi apabila kedua individu mempunyai kebutuhan sarana pertumbuhan yang sama sedangkan lingkungan tidak menyediakan kebutuhan tersebut dalam jumlah yang cukup. Persaingan ini akan berakibat negatif atau menghambat pertumbuhan individu-individu yang terlibat.

Persaingan dapat terjadi antara organ dalam satu tanaman yang sama (*Intraplant competition*), antar sesama jenis tanaman yang sama dalam lahan yang sama (*intraspecific competition*) dan antara jenis tanaman yang berbeda pada lahan yang sama (*interspecific competition*). Persaingan sesama jenis pada umumnya terjadi

lebih awal dan menimbulkan pengaruh yang lebih buruk dibandingkan persaingan yang terjadi antar jenis yang berbeda.

Persaingan dalam satu tubuh tanaman dapat terjadi jika sebagian dari organ tanaman tetap hidup tetapi tidak dapat melakukan aktivitas, misal daun yang terlindungi daun lain dalam satu tubuh tanaman.

Persaingan antar jenis tanaman atau beda jenis terjadi karena tanaman mempunyai kebutuhan yang sama terhadap faktor-faktor yang tersedia dalam jumlah terbatas di dalam lingkungan seperti ruang hidup, cahaya, air, CO₂ dan sebagainya. Di dalam menggunakan sumber daya alam, tiap-tiap tanaman yang bersaing akan memperebutkan sesuatu yang diperlukan untuk hidup dan pertumbuhannya. Pada dasarnya persaingan pada tanaman tidak dilakukan secara fisik. Namun akibat dari persaingan tersebut akan mempengaruhi pertumbuhan dan produktivitas dari keduanya.



Gambar 10.1. Kompetisi antar Satu Jenis Tanaman

Persaingan intraspesifik pada tumbuhan dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu: 1). Jenis tanaman. Sifat-sifat biologi tanaman, sistem perakaran, bentuk pertumbuhan serta fisiologis tanaman mempengaruhi pertumbuhan tanaman. Misal sistem perakaran tanaman ketela pohon yang mempunyai kemampuan menyerap hara yang kuat menyebabkan persaingan dalam memperebutkan unsur hara, 2). Kepadatan tumbuhan. Jarak yang sempit antar tanaman pada suatu lahan yang sama

menyebabkan persaingan terhadap hara dan mineral dalam rizosfer. Hal ini karena unsur hara dan mineral yang tersedia tidak mencukupi bagi pertumbuhan tanaman, 3). Organ penyebaran tanaman. Penyebaran tanaman dapat dilakukan melalui penyebaran biji dan melalui rimpang. Tanaman yang penyebarannya dengan biji mempunyai kemampuan bersaing yang lebih tinggi dibanding tanaman yang menyebar dengan rimpang. Namun demikian, persaingan penyebaran tanaman tersebut sangat dipengaruhi faktor-faktor lingkungan lain seperti suhu, cahaya, oksigen dan air, dan 4). Waktu. Faktor lain yang mempengaruhi persaingan yaitu lamanya tanaman sejenis hidup bersama pada lahan yang sama. Pertumbuhan awal tanaman atau sepertiga pertama dari umur tanaman merupakan periode yang paling peka terhadap persaingan.

10.3. Modifikasi Kerapatan Tanam

Pengaturan jarak tanam perlu diperhatikan agar kompetisi antar tanaman dapat terhindar dan meningkatkan pertumbuhan tanaman dan hasil. Penggunaan jarak tanam sempit bertujuan untuk meningkatkan hasil, asalkan faktor pembatas dapat dihindari sehingga tidak terjadi persaingan antar tanaman (Mayadewi, 2007). Penggunaan jarak tanam sempit menyebabkan terjadinya masalah tumpang tindih antar akar dibandingkan pada jarak tanam lebar.

Pada jarak tanam sempit, unsur hara *mobil* maupun *immobil* cepat dapat terjangkau oleh volume akar tanaman. Akar semakin panjang menembus tanah, sistem perakaran dan percabangan akar semakin besar dalam volume tanah, maka semakin besar kemampuan mengabsorpsi unsur hara dalam tanah (Foth, 1984).

Jarak tanam sempit dapat meningkatkan daya saing tanaman terhadap gulma, karena pertumbuhan tajuk menghambat pancaran cahaya matahari ke permukaan lahan sehingga pertumbuhan gulma menjadi terhambat. Jarak tanam terlalu sempit akan memberikan hasil yang relatif rendah karena adanya kompetisi antar tanaman itu sendiri (Mayadewi, 2007).

Pertumbuhan lebih lanjut akan terjadi kompetisi tumpang tindih antar daun dalam satu tanaman dan juga antar tanaman. Pada jarak tanam sempit, maka LAI optimum akan cepat tercapai dan berakhir serta hasil persatuan luas rendah.

Pertumbuhan tajuk lambat menutup permukaan tanah pada jarak tanam lebar sehingga akan memberikan kesempatan kepada gulma dapat tumbuh dengan baik dan hasil per satuan luas lahan lebih rendah (Mayadewi, 2007). Gulma C_4 akan tumbuh dengan baik pada lahan terbuka, karena pada intensitas cahaya yang tinggi tidak akan mencapai titik jenuh.

Jarak tanam lebar menyebabkan LAI optimum tanaman berlangsung lama dan hasil persatuan luas lebih rendah karena jumlah tanaman per satuan luas lebih sedikit. Jarak tanam yang paling baik yaitu jarak tanam optimum, sehingga saat tanaman mencapai pertumbuhan maksimum diharapkan kompetisi antar tanaman

seminimal mungkin. Saat LAI mencapai optimum akan menyebabkan jumlah daun dalam tajuk tanaman paling baik untuk penetrasi dan distribusi cahaya matahari sehingga terjadi fotosintesis maksimum dan kecepatan pertumbuhan tanaman maksimal.

Kerapatan tanam dapat dimodifikasi sedemikian rupa sehingga hasil tanaman per satuan luas tetap lebih tinggi. Sistem tanam yang sedang dianjurkan saat ini adalah sistem tanaman legowo.

Sifat kanopi sangat menentukan kemampuan berproduksi tanaman sebab kanopi berpengaruh terhadap penetrasi dan distribusi cahaya. Semakin baik penetrasi, fotosintesis setiap daun akan semakin baik.

Radiasi matahari berkurang secara eksponensial melalui tajuk tanaman, dengan tingkat penangkapan cahaya tergantung pada jumlah dan susunan daun, yaitu: $I = I_0 e^{-kL}$, I adalah radiasi matahari di bawah tajuk, I_0 adalah radiasi atas tajuk, k adalah koefisien penangkapan dan L adalah indeks luas daun. Koefisien penangkapan rendah untuk daun sudut daun tegak yaitu 0,3-0,5 untuk rumputan, penangkapan cahaya lebih tinggi untuk posisi daun tersusun horizontal dan mendekati 1 untuk distribusi daun secara acak, ukuran daun kecil dan posisi daun horizontal sempurna (Lambers *et al.*, 2008).

Daun mengabsorpsi radiasi matahari paling efektif digunakan untuk fotosintesis. Cahaya yang dapat masuk ke tingkat kanopi lebih bawah, maka tingkat kuantitas dan kualitas lebih rendah (Aldrich, 1984). Distribusi cahaya dipengaruhi oleh jarak tanam dan struktur tanaman yang dihubungkan dengan sudut distribusi dan rumpun dedaunan. Daun tipe tegak lurus dan ereks lebih menguntungkan untuk transmisi dan intersepsi cahaya (Hui Feng *et al.*, 2010).

Ukuran daun yang baik tergantung pada LAI. Jika LAI besar, ukuran daun kecil-kecil menguntungkan. Sedangkan LAI kecil maka daun besar menguntungkan karena semua sinar bisa ditangkap. LAI optimum, maka jumlah daun dalam tajuk pada tanaman paling baik untuk penetrasi dan distribusi cahaya pada mahkota sehingga fotosintesis maksimum sehingga kecepatan pertumbuhan tanaman maksimal.

10.3.1. Jarak Tanam padi sistem jajar legowo

Teknik menanam padi sistem jajar legowo adalah inovasi teknologi jarak tanam padi yang dikembangkan dari sistem tanam tegel yang telah berkembang di masyarakat. Istilah legowo yang diambil dari bahasa Jawa, yaitu kata *lego* yang artinya luas dan *dowo* yang berarti memanjang. Prinsipnya sistem tanam jajar legowo dapat meningkatkan populasi per satuan luas dengan cara mengatur jarak tanam. Selain itu, sistem tanam tersebut dapat memanipulasi lokasi tanaman sehingga seolah-olah tanaman padi dibuat menjadi tanaman pinggir lebih banyak. Tanaman padi di pinggir akan menghasilkan produksi lebih tinggi dan gabah lebih berkualitas.

Hal ini disebabkan karena tanaman tepi akan mendapatkan sinar matahari yang lebih banyak (Anonim, 2011).

Tujuan dari sistem tanam jarak legowo (Anonim, 2010) adalah: (1). Dapat memanfaatkan radiasi surya bagi tanaman pinggir, (2). Lahan lebih terbuka sehingga tanaman relatif aman dari serangan tikus. (3). Dapat menekan serangan penyakit karena rendahnya kelembaban dibandingkan dengan sistem tanam konvensional, (4). Populasi tanaman bertambah per satuan luas sesuai tipe jarak legowo yang digunakan, (5). Pemupukan lebih efisien, dan (6). Mempermudah pengendalian hama penyakit dan gulma daripada sistem tanam konvensional.



Gambar 10.2. Jarak Tanam Padi Sistem Jajar Legowo

Menurut Anonim (2011), adapun manfaat sistem tanam jarak legowo, yaitu: (1). Dapat memanfaatkan cahaya matahari bagi tanaman yang berada pada bagian pinggir barisan. Semakin banyak cahaya matahari yang mengenai tanaman, maka proses fotosintesis oleh daun akan semakin tinggi sehingga akan mendapatkan bobot buah yang lebih berat, (2). Dapat mengurangi kemungkinan serangan hama, terutama hama tikus. Pada lahan yang relatif terbuka, hama tikus kurang suka tinggal di dalamnya, (3). Dapat menekan serangan penyakit. Pada lahan-lahan yang relatif terbuka, kelembaban akan semakin rendah, sehingga serangan penyakit juga akan berkurang, (4). Dapat mempermudah pelaksanaan pemupukan, pengendalian hama dan penyakit. Pekerja dapat melaksanakan pemupukan, pengendalian hama dan penyakit dengan leluasa pada barisan kosong di antara dua barisan legowo, (5). Dapat menambah populasi tanaman, sehingga juga akan meningkatkan produksi tanaman

padi, dan (6). Dapat memperbaiki kualitas gabah dengan semakin banyak tanaman pinggir.

Selain sistem tanam jajar legowo dapat memberikan manfaat, namun ada beberapa kelemahan, yaitu: (1). Dibutuhkan lebih banyak tenaga tanam dan waktu tanam yang lebih lama, (2). Dibutuhkan benih yang lebih banyak dengan semakin banyaknya populasi, dan (3). Lebih banyak ditumbuhi rumput atau gulma (Anonim, 2011).

Sistem tanam jajar legowo merupakan usaha peningkatan populasi per satuan luas dengan cara mengatur jarak tanam. Di samping itu, sistem tanam tersebut juga dapat memanipulasi atau memodifikasi lokasi tanaman sehingga seolah-olah tanaman padi dibuat menjadi tanaman pinggir lebih banyak. Telah diketahui bahwa tanaman padi yang berada di bagian pinggir akan menghasilkan produksi lebih tinggi dan kualitas gabah yang lebih baik. Hal ini disebabkan tanaman tepi akan mendapatkan cahaya matahari yang lebih banyak. Semakin lebar jarak tanam mendukung semakin banyak jumlah anakan produktif yang dihasilkan oleh tanaman. Penyebabnya, cahaya matahari bisa mengenai seluruh bagian tanaman dengan baik sehingga proses fotosintesis dan pertumbuhan tanaman lebih optimal. Jarak tanam yang lebar, juga dapat memungkinkan tanaman untuk menyerap nutrisi, oksigen, dan cahaya matahari secara maksimal (Anonim, 2010).

Menurut Anonim (2010) jarak tanam yang digunakan dalam metode SRI adalah dengan jarak tanam sistem tegel, misalnya 25 cm × 25 cm atau 30 cm × 30 cm dan jarak tanam sistem Jajar Legowo 2:1 atau 4:1.

Menurut Anonim (2011) meunjukkan bahwa tipe dari sistem tanam jajar legowo untuk padi sawah bisa dilakukan dengan berbagai tipe yaitu: legowo (2:1), (3:1), (4:1), (5:1), (6:1) atau tipe lainnya. Namun dari hasil penelitian menunjukkan bahwa tipe terbaik untuk mendapatkan produksi gabah tertinggi yaitu dengan legowo 4:1, dan untuk mendapat bulir gabah berkualitas benih dicapai dengan sistem legowo 2:1.

Menurut Anonim (2011), mengatakan bahwa sistem Jajar legowo 2:1 artinya setiap dua baris tanaman diselingi satu barisan kosong dengan lebar dua kali jarak dalam barisan. Namun, jarak tanam dalam barisan yang memanjang dipersempit menjadi setengah jarak tanam dalam barisan. Jarak tanam pada tipe legowo 2:1 yaitu 20 cm (antar barisan) × 10 cm (barisan pinggir) × 40 cm (barisan kosong). Sistem jajar legowo 3:1 yaitu setiap tiga baris tanaman padi diselingi satu barisan kosong dengan lebar dua kali jarak dalam barisan. Jarak tanam tanaman padi yang dipinggir dirapatkan dua kali dengan jarak tanam yang di tengah. Sistem jajar legowo 4:1 yaitu setiap tiga baris tanaman padi diselingi satu barisan kosong dengan lebar dua kali jarak dalam barisan, dan seterusnya. Jarak tanam yang di pinggir setengah dari jarak tanam yang di tengah. Jarak tanam pada tipe legowo 4:1 adalah 20 cm (antar barisan dan pada barisan tengah) × 10 cm (barisan pinggir) × 40 cm (barisan kosong).

Jarak tanam pada sistem tanam legowo dapat dimodifikasi dengan berbagai pertimbangan. Secara umum, jarak tanam yang dipakai adalah 20 cm dan dapat

dimodifikasi menjadi 22,5 cm atau 25 cm sesuai pertimbangan jenis varietas padi yang akan ditanam atau tingkat kesuburan tanahnya. Jarak tanam untuk padi varietas IR-64 maupun Ciherang lebih tepat menggunakan jarak 20×20 cm. Varietas padi dengan penampilan lebih lebat dan tinggi dapat menggunakan jarak tanam yang lebih lebar, misalnya antara 22,5×22,5 cm. Pada tanah yang kurang subur, penggunaan jarak tanam 20×20 cm lebih baik. Pada tanah yang lebih subur digunakan jarak tanam yang lebih lebar, misalnya 22,5×22,5 cm. Pada tanah yang sangat subur lebih baik digunakan jarak tanam 25×25 cm. Pemilihan ukuran jarak tanam bertujuan agar mendapatkan hasil yang optimal (Anonim, 2011).

Peningkatan jumlah populasi tanaman dengan sistem tanam jajar legowo dapat digunakan rumus: $100\% \times 1 : (1 + \text{jumlah legowo})$. Untuk legowo 2:1 peningkatan populasinya: $100\% \times 1 : (1 + 2) = 30\%$ (Anonim, 2011).

Contoh:

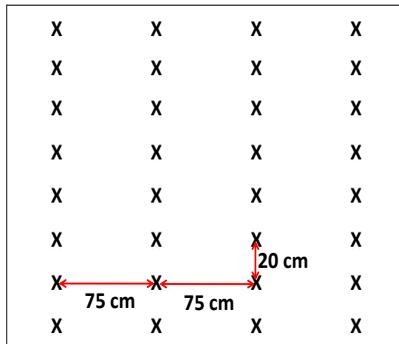
- 1). Legowo 3:1, peningkatan populasinya yaitu $100\% \times 1 : (1 + 3) = 25,0\%$,
- 2). Legowo 4:1, peningkatan populasinya yaitu $100\% \times 1 : (1 + 4) = 20,0\%$,
- 3). Legowo 5:1, peningkatan populasinya yaitu $100\% \times 1 : (1 + 5) = 16,6\%$.

10.3.2. Jarak Tanam jagung sistem jajar legowo

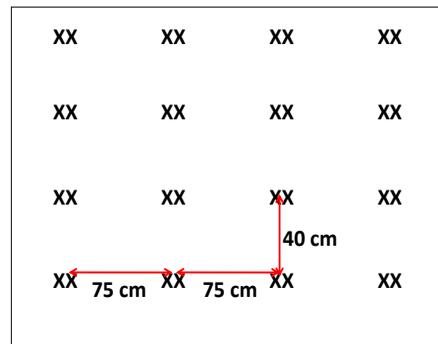
Penggunaan jarak tanam disesuaikan dengan kondisi lahan, sifat varietas, dan musim. Pada lahan subur, sebaiknya digunakan jarak tanam agak lebar dibandingkan lahan yang kurang subur. Pada lahan subur, pertumbuhan tanaman lebih baik dibandingkan yang kurang subur sehingga dibutuhkan ruang tumbuh yang lebih lebar. Perbedaan varietas yang secara genetik memiliki sifat kanopi yang berbeda. Varietas dengan kanopi lebar, maka digunakan jarak tanam yang lebih lebar dibandingkan varietas yang secara genetik memiliki kanopi sempit (Anonim, 2013a).

Musim tanam juga menentukan penggunaan jarak tanam. Pada musim hujan, jarak tanam yang digunakan lebih lebar dibandingkan musim kemarau. Pada musim kemarau jarak tanam yang digunakan lebih rapat dibandingkan pada musim hujan. Hal ini disebabkan pada musim kemarau penguapan air tinggi dibanding musim hujan sehingga untuk mengurangi penguapan air digunakan jarak tanam rapat (Anonim, 2013a).

Gambar 10.3 di atas diperlihatkan beberapa jarak tanam yang biasa digunakan di lapangan. Penggunaan teknik tanam sistem legowo sangat efektif dilakukan untuk menunjang peningkatan indeks pertanaman (IP) jagung pada lahan sawah tadah hujan. Teknik tanam legowo selain memberikan *border plant*, juga akan mempermudah penanaman selanjutnya sebelum panen. *Border plant* bagi tanaman berarti memperbanyak tanaman pinggir sehingga memberikan penyinaran yang merata bagi tanaman tanpa ada yang ternaungi (Anonim, 2013a).



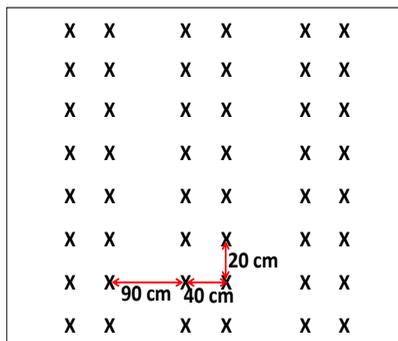
Jarak Tanam: 75-75 cm × 20 cm
1 tanaman per lubang



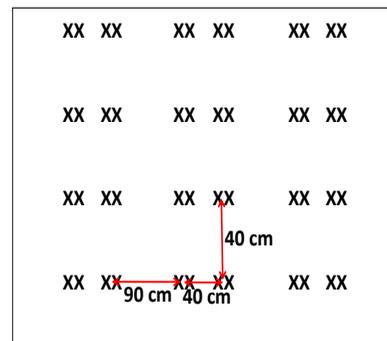
Jarak Tanam: 75-75 cm × 40 cm
2 tanaman per lubang

Gambar 10.3. Jarak Tanam Jagung Sistem Jajar Legowo 2:1

Sistem tanam legowo dapat diterapkan pada pertanaman jagung. Pada umumnya Jarak tanam untuk tanaman jagung digunakan adalah 75-75 cm × 20 cm (1 tanaman per lubang). Pada wilayah yang bermasalah dengan tenaga kerja dapat diterapkan jarak tanam 75-75 cm × 40 cm (2 tanaman per lubang) dengan populasi = 66.000-71.000 tanaman per ha. Juga bisa digunakan cara tanam legowo 90-40cm × 20cm (1 tanaman per lubang) atau 90-40 cm × 40 cm (2 tanaman per lubang) dengan populasi = 71.000 - 77.000 tanaman per ha.



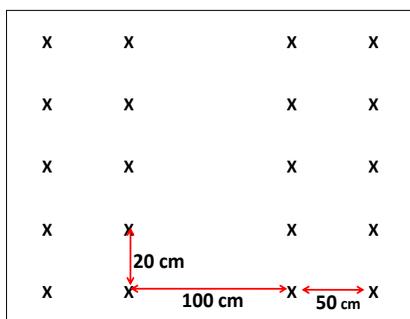
Jarak Tanam: 90-40 cm x 20 cm
1 tanaman per lubang



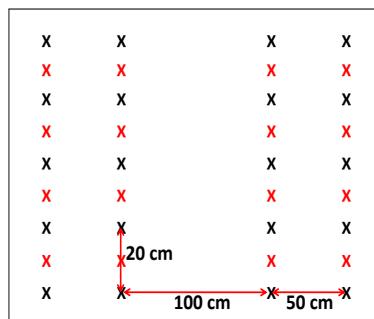
Jarak Tanam: 90-40 cm x 40 cm
2 tanaman per lubang

Gambar 10.4. Jarak Tanam Jagung Sistem Jajar Legowo 2:1 (2 tanaman per lubang)

Tanaman jagung tidak membentuk anakan sehingga penerapan sistem legowo lebih diarahkan pada: 1). Meningkatkan penerimaan intensitas cahaya matahari pada daun tanaman dengan harapan hasil asimilat meningkat sehingga pengisian biji dapat optimal, 2). Memudahkan pemeliharaan tanaman, terutama penyiangan gulma baik secara manual maupun dengan herbisida, pemupukan, dan pemberian air, dan 3). Memudahkan penanaman untuk pertanaman kedua dengan sistem tanam sisip yang dilakukan dua minggu sebelum pertanaman pertama dipanen (khusus untuk wilayah potensial penanaman jagung 2× berturut-turut) sehingga menghemat periode pertumbuhan tanaman di lapangan (Anonim, 2013b).



a. Jarak Tanam: 100- 50 cm x 20 cm
1 tanaman per lubang



b. Jarak Tanam: 100- 50 cm x 20 cm
1 tanaman per lubang

Gambar 10.5. Jarak Tanam Sistem Jajar Legowo 2:1 (Sistem Tanam Sisip)

Keterangan:

- X = Pertanaman I (Saat 2 minggu sebelum panen)
- X = Pertanaman II (Saat 2 minggu sebelum panen)

Untuk penanaman berikutnya (pertanaman kedua) maka sistem tanam sisip dapat diterapkan yaitu dengan menanam pada barisan kosong pertanaman 2 minggu menjelang pertanaman I dipanen (lihat Gambar 10.5a). Dengan penerapan tanam sisip maka ada penghematan waktu pemanfaatan lahan, dan juga pemanfaatan air. Cara penanaman untuk pertanaman II, seperti pada Gambar 10.5b (Anonim, 2013b).

7.4. Memprediksi Indeks Luas Daun (ILD) Optimum

Pertanian pada dasarnya merupakan system pemanfaatan energi sinar matahari melalui zat hijau daun pada proses fotosintesis. Daun merupakan organ utama tempat berlangsungnya proses fotosintesis. Oleh karena itu jumlah atau luas daun perlu diatur agar distribusi sinar matahari dapat merata mengenai seluruh daun

dalam satu tubuh tanaman. Menurut Gardner et al. (1985), bahwa indeks luas daun yang optimum akan meningkatkan laju pertumbuhan tanaman.

Jika ILD melebihi ILD optimum, maka kurve pertumbuhan akan menurun karena setelah mencapai ILD optimum jika daun bertambah akan saling menaungi (*mutually shading*) berarti penetrasi dan distribusi cahaya menjadi jelek sehingga daun-daun di posisi bawah & tengah kanopi tidak mendapatkan penyinaran penuh sehingga *total fotosintetic* menurun dan pertumbuhannya akan menurun.

ILD menentukan kemampuan tanaman dalam mengintersepsi sinar matahari. Semakin besar ILD, maka semakin besar pula sinar matahari yang dapat diintersepsi oleh daun-daun tanaman. Pada ILD yang terlalu tinggi atau melebihi ILD optimum, maka akan mengakibatkan penyerapan sinar matahari oleh daun-daun dalam satu tubuh tanaman menjadi tidak merata. Daun-daun di bagian bawah dan tengah begitu rendah mengintersepsi sinar matahari sehingga hasil fotosintat yang dihasilkannya juga rendah sehingga tidak mencukupi untuk respirasinya. Untuk mencukupi kebutuhan agar daun tetap hidup, maka kekurangan fotosintat diambil fotosintat yang dihasilkan dari daun-daun aktif di bagian yang terkena sinar matahari penuh terutama daun-daun tanaman yang terletak di bagian atas kanopi. Menurut Sugito (1999) daun-daun di bagian bawah bersifat negative karena kebutuhannya harus mengambil karbohidrat dari daun bagian atas.

Jika daun-daun dalam satu tubuh tanaman terus bertambah dan tanpa adanya pengurangan daun, maka suatu saat akan terjadi ILD *ceiling* pada tanaman. ILD *ceiling* yaitu *Total photosintetic yield - respiration = net photosintetic yield*, diarekanan jumlah daun yang begitu banyak pada satu tubuh tanaman sehingga pertumbuhan tanaman sampai nol karena kecepatan fotosintesis sama dengan kecepatan respirasi sehingga *net fotosintetic yield* sama dengan 0.

ILD adalah perbandingan antara luas daun dengan luas permukaan tanah yang dinaungi oleh kanopi tanaman sebagai tempat tumbuhnya. ILD setiap tanaman dapat dihitung dengan rumus:

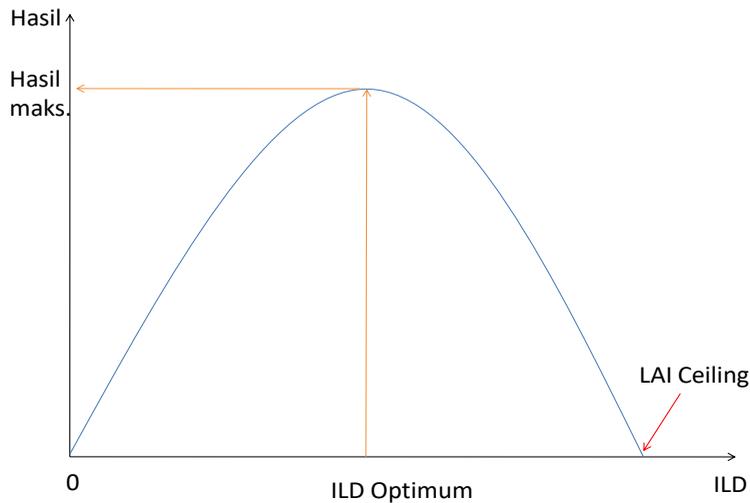
$$ILD = \frac{\text{Luas daun satu tanaman}}{\text{Luas jarak tanam}}$$

Luas daun optimum tanaman dapat dihitung dengan cara = luas jarak tanam x ILD optimum. Dan jika rerata luas per daun dapat diketahui, maka jumlah daun per tanaman optimum juga dapat dihitung dengan rumus = luas daun dibagi rerata luas per daun.

Untuk mengatur ILD optimum atau luas daun optimum atau jumlah daun optimum per tanaman dapat diatur melalui pemangkasan cabang atau jumlah daun. Untuk memelihara ILD optimum tidak mudah:

- 1) ILD optimum berbeda-beda tergantung jenis tanaman. Jenis tanaman sama, jika cultivar berbeda maka ILD-nya berbeda.

- 2) Untuk jenis atau varietas yang sama, tetapi intensitas cahaya yang diterima akan berbeda. Semakin tinggi intensitas cahaya maka ILD optimum naik (ILD optimum semakin besar pada tempat berbeda).



Gambar 10.6. Hubungan ILD dan Hasil Tanaman

Sulitnya ILD optimum untuk diusahakan, maka setiap orang dalam mengatur penetrasi dan distribusi cahaya lebih baik orang suka mengatur jarak tanamnya. Jarak tanam menjadi penting karena jarak tanam berpengaruh terhadap kompetisi antara tanaman terhadap faktor-faktor yang diperlukan untuk hidupnya tanaman.

Untuk mengetahui ILD optimum dilakukan dengan analisis regresi kuadratik antara ILD (sebagai X) dan bobot buah per tanaman (sebagai Y) dengan persamaan umum regresi kuadratik, yaitu: $Y = a + b_1 X + b_2 X^2$.

Contoh:

Perhitungan untuk mendapatkan ILD optimum dengan menggunakan parameter ILD dan bobot buah per tanaman. Hasil pengamatan terhadap 10 tanaman sampel (n) diperoleh data masing-masing ILD dan bobot buah per tanaman disajikan pada Tabel 10.1.

Tabel 10.1. Hubungan ILD dan Bobot Buah per Tanaman

| Sampel Tanaman | Indeks Luas Daun (ILD) = X | Bobot Buah per Tanaman (kg) = Y |
|-------------------|-------------------------------|------------------------------------|
| 1 | 0,0 | 0,0 |
| 2 | 0,5 | 0,6 |
| 3 | 1,0 | 0,9 |
| 4 | 1,5 | 1,1 |
| 5 | 2,0 | 1,3 |
| 6 | 2,5 | 1,4 |
| 7 | 3,0 | 1,5 |
| 8 | 3,5 | 1,4 |
| 9 | 4,0 | 1,3 |
| 10 | 4,5 | 1,1 |

Perhitungan untuk mendapatkan nilai-nilai seperti pada Tabel 10.2 melalui tahap perhitungan berikut.

Tahap perhitungan awal:

1. Rerata Y yaitu jumlah seluruh nilai Y dibagi jumlah sampel

$$\bar{Y} = \frac{\sum Y_i}{n} = \frac{\sum (0 + 0,6 + \dots + 1,3 + 1,1)}{10} = 1,06$$

2. y_i (nilai simpangan) yaitu nilai selisih antara masing-masing nilai Y terhadap nilai reratanya (\bar{Y}).

$$y_i = (Y_i - \bar{Y}), \text{ maka: } y_1 = (0 - 1,06) = -1,06; y_2 = (0,6 - 1,06) = -0,46; \dots; y_9 = (1,3 - 1,06) = 0,24, \text{ dan } y_{10} = (1,1 - 1,06) = 0,04$$

Jumlah kuadrat simpangan:

$$\sum y_i^2 = \Sigma((-1,06)^2 + (-0,46)^2 + \dots + 0,24^2 + 0,04^2) = 1,904$$

3. Rerata X yaitu jumlah seluruh nilai X dibagi jumlah sampel

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n} = \frac{\sum (0 + 0,5 + \dots + 4,0 + 4,5)}{10} = 2,25$$

4. z_{1i} (nilai simpangan) yaitu nilai selisih antara masing-masing nilai variabel X terhadap nilai reratanya (\bar{X}).

$$z_{1i} = (X_i - \bar{X}), \text{ maka: } z_{11} = (0 - 2,25) = -2,25; z_{12} = (0,5 - 2,25) = -1,75; \dots; z_{19} = (4,0 - 2,25) = 1,75, \text{ dan } z_{110} = (4,5 - 2,25) = 2,25$$

Jumlah kuadrat simpangan:

$$\Sigma z_{1i}^2 = \Sigma((-2,25)^2 + (-1,75)^2 + \dots + 1,75^2 + 2,25^2) = 20,625$$

5. Rerata X^2 yaitu jumlah seluruh nilai variabel X^2 dibagi jumlah sampel

$$\bar{X}^2 = \frac{\Sigma X_i^2}{n} = \frac{\Sigma(0 + 0,25 + \dots + 16 + 20,25)}{10} = 7,125$$

6. z_{2i} (nilai simpangan) yaitu nilai selisih antara masing-masing nilai variabel X^2 terhadap nilai reratanya (\bar{X}^2).

$$z_{2i} = (X_i^2 - \bar{X}^2), \text{ maka: } z_{21} = (0 - 7,125) = -7,125; z_{12} = (0,25 - 7,125) = -6,88; \\ \dots; z_{19} = (16,0 - 7,125) = 8,88 \text{ dan } z_{110} = (20,25 - 7,125) = 13,13$$

Jumlah kuadrat simpangan:

$$\Sigma z_{2i}^2 = \Sigma((-7,125)^2 + (-6,88)^2 + \dots + 8,88^2 + 13,13^2) = 450,66$$

7. Hasil kali antara z_{1i} dan y_i :

$$z_{11}y_1 = (-2,25 \times -1,06) = 2,39; z_{12}y_2 = (-1,75 \times -0,46) = 0,81; \dots z_{19}y_9 = (1,75 \times \\ 0,24) = 0,43; z_{110}y_{10} = (2,25 \times 0,04) = 0,09$$

$$\Sigma z_{1i}y_i = \Sigma(2,39 + 0,81 + \dots + 0,43 + 0,09) = 4,65$$

8. Hasil kali antara z_{2i} dan y_i :

$$z_{21}y_1 = (-7,13 \times -1,06) = 7,553; z_{22}y_2 = (-6,88 \times -0,46) = 3,163; \dots z_{29}y_9 = \\ (8,88 \times 0,24) = 2,130; z_{210}y_{10} = (13,13 \times 0,04) = 0,525$$

$$\Sigma z_{2i}y_i = \Sigma(7,553 + 3,163 + \dots + 2,130 + 0,525) = 15,675$$

9. Hasil kali antara z_{1i} dan z_{2i} :

$$z_{11}z_{21} = (-2,25 \times -7,13) = 16,031; z_{12}z_{22} = (-1,75 \times -6,88) = 12,031; \dots z_{19}z_{29} = \\ (1,75 \times 8,88) = 15,531; z_{110}z_{210} = (2,25 \times 13,13) = 29,531$$

$$\Sigma z_{2i}y_i = \Sigma(16,031 + 12,031 + \dots + 15,531 + 29,531) = 92,813$$

Berdasarkan proses perhitungan di atas, maka hasil perhitungan dapat disubstitusikan ke Tabel 10.2.

Tabel 10.2. Analisis Regresi Kuadratik Hubungan LAI dan Bobot Buah per Tanaman

| Y_i (1) | y_i (2) | X_i (3) | z_{1i} (4) | X_i^2 (5) | z_{2i} (6) | $z_{1i}y_i$ (7) | $z_{2i}y_i$ (8) | $z_{1i}z_{2i}$ (9) |
|--------------|----------------|--------------|-------------------|----------------|-------------------|--------------------|--------------------|-----------------------|
| 0,0 | -1,06 | 0,0 | -2,25 | 0,00 | -7,13 | 2,39 | 7,553 | 16,031 |
| 0,6 | -0,46 | 0,5 | -1,75 | 0,25 | -6,88 | 0,81 | 3,163 | 12,031 |
| 0,9 | -0,16 | 1,0 | -1,25 | 1,00 | -6,13 | 0,20 | 0,980 | 7,656 |
| 1,1 | 0,04 | 1,5 | -0,75 | 2,25 | -4,88 | -0,03 | -0,195 | 3,656 |
| 1,3 | 0,24 | 2,0 | -0,25 | 4,00 | -3,13 | -0,06 | -0,750 | 0,781 |
| 1,4 | 0,34 | 2,5 | 0,25 | 6,25 | -0,88 | 0,09 | -0,298 | -0,219 |
| 1,5 | 0,44 | 3,0 | 0,75 | 9,00 | 1,88 | 0,33 | 0,825 | 1,406 |
| 1,4 | 0,34 | 3,5 | 1,25 | 12,25 | 5,13 | 0,43 | 1,743 | 6,406 |
| 1,3 | 0,24 | 4,0 | 1,75 | 16,00 | 8,88 | 0,42 | 2,130 | 15,531 |
| 1,1 | 0,04 | 4,5 | 2,25 | 20,25 | 13,13 | 0,09 | 0,525 | 29,531 |
| \bar{Y} | Σy_i^2 | \bar{X} | Σz_{1i}^2 | \bar{X}^2 | Σz_{2i}^2 | $\Sigma z_{1i}y_i$ | $\Sigma z_{2i}y_i$ | $\Sigma z_{1i}z_{2i}$ |
| 1,06 | 1,904 | 2,25 | 20,625 | 7,125 | 450,66 | 4,65 | 15,675 | 92,813 |

Berdasarkan Tabel 10.2 di atas dapat dihitung konstanta (a), koefisien regresi b_1 dan b_2 , X optimum, Y maksimum, dan koefisien determinasi (R^2) sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Koefisien regresi } (b_1) &= \frac{(\Sigma z_{2i}^2 \times \Sigma z_{1i}y_i) - (\Sigma z_{1i}z_{2i} \times \Sigma z_{2i}y_i)}{\Sigma z_{1i}^2 \times \Sigma z_{2i}^2 - (\Sigma z_{1i}z_{2i})^2} \\
 &= \frac{(450,66 \times 4,65) - (92,813 \times 15,675)}{20,625 \times 450,66 - (92,813)^2} \\
 &= \frac{640,7156}{680,625} \\
 &= 0,9413
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Koefisien regresi } (b_2) &= \frac{(\Sigma z_{1i}^2 \times \Sigma z_{2i}y_i) - (\Sigma z_{1i}z_{2i} \times \Sigma z_{1i}y_i)}{\Sigma z_{1i}^2 \times \Sigma z_{2i}^2 - (\Sigma z_{1i}z_{2i})^2} \\
 &= \frac{(20,625 \times 15,675) - (92,813 \times 4,65)}{20,625 \times 450,66 - (92,813)^2} \\
 &= \frac{-108,281}{680,625} \\
 &= -0,1591
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Konstanta } (a) &= \bar{Y} - (b_1 \times \bar{X}) - (b_2 \times \bar{X}^2) \\
 &= 1,06 - (0,9413 \times 2,25) - (-0,1591 \times 7,125) \\
 &= 0,0754
 \end{aligned}$$

Untuk mendapatkan LAI optimum (X optimum) dengan menghitung turunan pertama dari persamaan regresi kuadrat $Y = a + b_1 X + b_2 X^2$, yaitu: $Y' = 0$, maka $0 = 0 + b_1 + 2 b_2 \times X \text{ optimum}$

$$\begin{aligned} X \text{ optimum} &= \frac{b_1}{-2 b_2} \\ &= \frac{0,9413}{-2 \times -0,1591} \\ &= 2,958 \end{aligned}$$

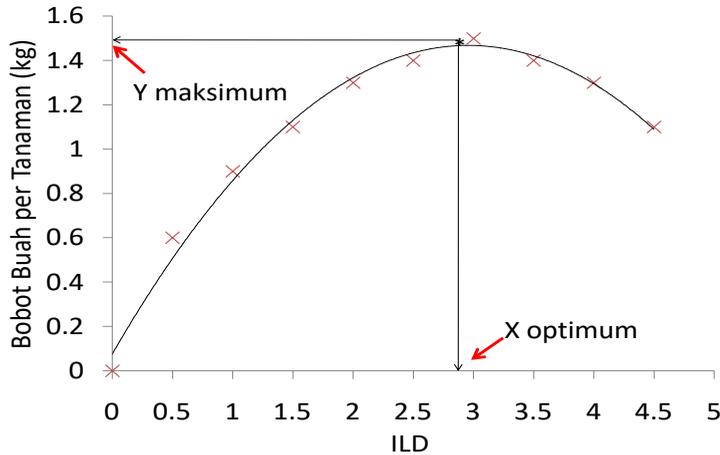
Hasil tertinggi atau Y maksimum dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$\begin{aligned} Y \text{ maksimum} &= a + (b_1 \times X \text{ optimum}) + (b_2 \times X \text{ optimum}^2) \\ &= 0,0754 + (0,9413 \times 2,958) + (-0,1591 \times 2,958^2) \\ &= 1,648 \text{ kg} \end{aligned}$$

Koefisien determinasi (R^2):

$$\begin{aligned} &= \frac{(b_1 \times \Sigma z_{1i} y_i) - (b_2 \times \Sigma z_{2i} y_i)}{\Sigma y_i^2} \\ &= \frac{(0,9413 \times 4,65) - (0,1591 \times 15,675)}{1,906} \\ &= \frac{1,8834}{1,906} \\ &= 0,989 \end{aligned}$$

Atas dasar perhitungan di atas ditemukan persamaan regresi kuadrat dengan persamaan: $Y = 0,0754 + 0,9413 X - 10,1591 X^2$, koefisien determinasi (R^2) = 0,989, dengan ILD optimum 2,958. Bobot buah per tanaman tertinggi yaitu 1,648 kg serta dapat dibuat kurva regresi seperti pada Gambar 10.7.



Gambar 10.7. Hubungan ILD optimum dan Hasil Maksimum

10.5. Faktor-faktor yang mempengaruhi kerapatan tanaman

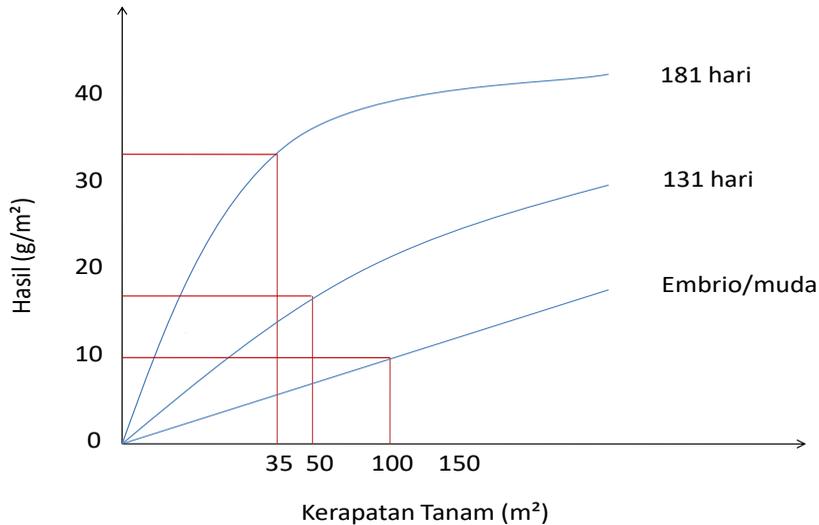
Beberapa jarak tanam yang baik untuk memilih jarak tanaman. Banyak faktor yang berpengaruh terhadap *crop density*:

10.5.1. Jenis tanaman

Jenis tanaman dalam kaitannya dengan kapan tanaman itu dapat dipungut hasilnya. Pada umur berapa tanaman itu dipungut hasilnya. Kalau tanaman akan dipanen pada umur relatif lebih pendek untuk mendapatkan hasil maksimal, maka jarak tanam lebih baik rapat. Dan apabila umur lebih panjang maksimal pertumbuhannya maka dipilih jarak tanam lebih lebar.

Contoh:

Hubungan kerapatan tanaman terhadap hasil tanaman cloper yang dipungut pada tingkatan umur berbeda.



Gambar 10.8. Hubungan Kerapatan Tanaman dan Hasil Tanaman

Umur panen masih muda (embrio) kerapatan tanam 100 tanaman per m², 131 hari (50 tanaman per m²), dan 181 hari (35 tanaman per m²).

10.5.2. Sifat habitus dari tanaman

Jarak tanam yang digunakan untuk suatu jenis tanaman tergantung pada beberapa hal berikut:

- a. Besar-kecilnya habitus tanaman
Tanaman yang habitusnya besar, maka jarak tanamnya lebih baik lebar dan tanaman yang berukuran kecil, maka jarak tanamnya sempit.
- b. Kedudukan daun
Ada tipe daun tumbuh horizontal (mendatar) dan sejajar (miring). Daun yang tumbuh sejajar, maka jarak tanam rapat lebih baik.
- c. Percabangan
Tanaman yang membentuk banyak cabang, maka jarak tanamnya lebih baik lebar.

d. Umur tanaman.

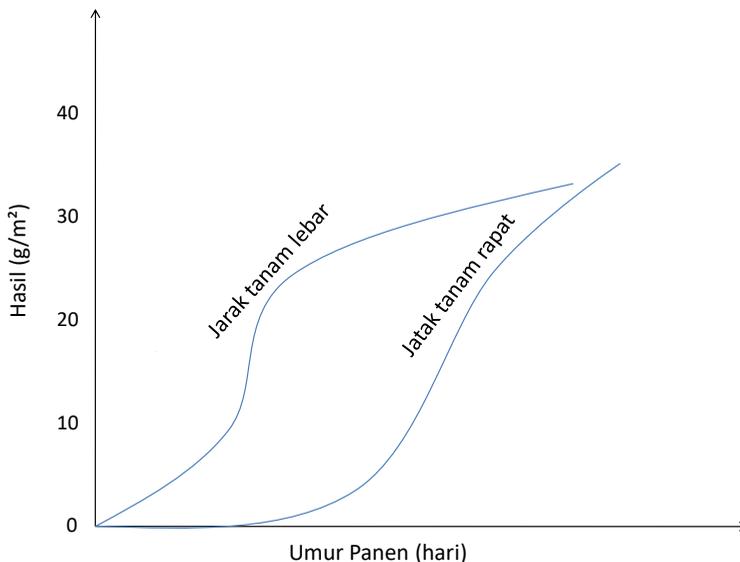
Tanaman yang berumur dalam (panjang) lebih baik menggunakan jarak tanam lebar dibanding tanaman genjah.

e. Tergantung berapa kali tanaman itu dapat dipungut hasilnya

Tanaman yang membentuk anak banyak lebih baik digunakan jarak yang lebih lebar, misalnya: pisang, dan nanas.

Kalau tanaman akan dipanen pada umur panen pendek menggunakan jarak tanam lebar (*close spacing*), jika menggunakan umur panjang dengan jarak tanam rapat (*wade spacing*).

Pengaturan jarak tanam sangat penting karena berpengaruh terhadap kerapatan tanaman dan selanjutnya akan menentukan untuk mencapai LAI optimum. Jika kerapatan tanaman tinggi belum mencapai LAI optimum sudah terjadi saling menaungi (*mutually shading*). Jarak tanam yang paling baik yaitu jarak tanam yang diambil sedemikian sehingga pada saat tanaman mencapai pertumbuhan maksimum persaingan antar tanaman seminimal mungkin dan daerah terbuka antar tanaman (*waste area*) diusahakan sekecil mungkin.



Gambar 10.9. Hubungan Umur Panen dan Hasil Tanaman

10.5.3. Waktu

Faktor lain yang mempengaruhi penggunaan jarak tanam adalah lamanya tanaman sejenis hidup secara bersama-sama. Periode sepertiga pertama dari umur tanaman merupakan periode yang paling peka terhadap kerugian yang disebabkan oleh adanya persaingan.

DAFTAR PUSTAKA

- Aldrich, R. J. 1984. *Weed-crop ecology: Principles in weed management*. Departement of Agriculture University of Missouri-Columbia. 465 p.
- Anonim, 2010. *Beras organik Sawangan*. Diakses, 3 Mei 2022. <http://organik-sawangan.blogspot.com/2010/02/teknologi-padi-organik-nasa-dengan.html>
- Anonim, 2011. *Meningkatkan produksi tanaman padi dengan sistem tanam jajar legowo*. Diakses, 3 Mei 2022. <http://tmo-sumberagung.blogspot.com/2011/12/meningkatkan-produksi-tanaman-padi.html>
- Anonim, 2013a. *Teknologi budidaya jagung (Zea mayze) tanpa olah tanah (TOT) pada lahan sawah tadah hujan*. Diakses, 3 Mei 2022. <http://sulbar.litbang.pertanian.go.id/index.php?>
- Anonim, 2013b. *Sistem legowo tanaman jagung*. Balai Penelitian Tanamaan Serealia. Badan Litbang Pertanian, Kementerian Pertanian Republik Indonesia.
- Anonim. 2019. *Pengertian dan definisi pembuahan pada tanaman*. Diakses, 3 Mei 2022. <https://ilmudasar.id/pengertian-pembuahan-pada-tanaman/>
- Anonim. 2022a. *Corn growth stage*. Diakses, 3 Mei 2022. https://www.pngitem.com/middle/iTxTohb_clip-art-corn-growth-stages-hd-png-download/
- Anonim. 2022b. *Corn stalks*. Diakses, 3 Mei 2022. <https://www.dreamstime.com/corn-stalks-isolated-white-background-green-plants-field-vector-illustration-flat-design-image137289988>
- Anonim. 2022c. *Monocot germination - corn seedling*. Diakses, 3 Mei 2022. <https://id.pinterest.com/pin/638033472189410532/>
- Anonim. 2022d. *Pollination*. Diakses, 3 Mei 2022. <https://kids.britannica.com/students/article/pollination/276490>
- Anonim. 2022e. *Morphology of flowering plants*. Diakses, 9 May 2022. <https://ncerthelp.com/text.php?ques=1401+Morphology+of+Flowering+Plants++Class+11+Notes+Download+in+PDF>
- Foth, H. D. 1972. *Fundamentals of soil science. Fifth edition*. John Wiley & Sons, Inc.
- Gardner F. P., R. B. Pearce, and R. L. Mitchell, 1985. *Physiology of Crop Plants*. Iowa State University.

- Gaspersz, V. 1992. *Teknik analisis dalam penelitian percobaan*. Tarsito Bandung. 712 hal.
- Hamzah, M. F. 2014. *Perkembangan dan pertumbuhan tumbuhan*. Diakses, 3 Mei 2022. <http://mfauzihamzah.blogspot.com/2014/02/pertumbuhan-dan-perkembangan-tumbuhan.html>
- 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*. Department of Horticulture, Shenyang Agricultural University, Shenyang, China.
- Junin, H. B., 2005. *Dasar-dasar agronomi*. P.T. Raja Grafindo Persada, Jakarta.
- Lambers, H., F. S. Chapin III, and T. L. Pons, 2008. *Plant physiological ecology*. Second Edition. Springer Science & Business Media, LLC, New York, USA.
- Mayadewi, N. A., 2007. *Pengaruh jenis pupuk kandang dan jarak tanam terhadap pertumbuhan gulma dan hasil jagung manis*. Fakultas Pertanian Universitas Udayana Denpasar Bali. *Agritop*, 25(4): 153-159.
- Maya, R. 2019. *Bagian-bagian bunga*. Diakses, 3 Mei 2022. <https://hariannusantara.com/14471/gambar-bagian-bagian-bunga/>
- Paiman, 2005. *Teknik analisis dalam percobaan faktor tunggal*. Fakultas Pertanian Universitas PGRI Yogyakarta. 234 hal.
- Petruzzello, M. 2022. *Endosperma*. Diakses, 3 Mei 2022. <https://www.britannica.com/science/endosperm>
- Singh, R. K., and B. D. Chaudhary, 1979. *Biometrical methodes in quantitative genetic analysis*. Kalyani Pub. Ludhiana, New Dehli.
- Sugito Y., 1999. *Ekologi tanaman*. Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya, Malang.

GLOSARIUM

Bobot daun khas (BDK) atau *specific leaf weight* (SLW) adalah bobot daun tiap satuan luas daun, menggambarkan ketebalan daun (g/cm^2).

Biological yield adalah semua hasil dari tanaman (termasuk *economic yield*).

Decreasing growth rate fase adalah fase pertumbuhan yang cenderung semakin berkurang.

Diferensiasi adalah suatu keadaan dimana sel-sel meristematik berkembang menjadi dua macam atau lebih sel/jaringan/organ tanaman yang secara kualitatif berbeda satu dengan yang lainnya.

Economic yield adalah hasil dari tanaman yang mempunyai nilai ekonomi utama.

Fotoperiode adalah suatu peristiwa dimana berbunganya tanaman dipengaruhi oleh fotoperiode (panjang penyinaran).

Fotoperodisme adalah respon tanaman terhadap lamanya penyinaran (panjang pendeknya hari) yang dapat merangsang pembungaan.

Fotoperiode kritik (PK) atau *critical photoperiod* adalah fotoperiode yang menentukan apakah suatu tanaman setelah mencapai ripening to flowers mau berbunga atau tidak.

Imbibisi adalah proses penyerapan air oleh benih sehingga kulit benih melunak dan terjadinya hidrasi dari protoplasma.

Indeks luas daun (ILD) atau *leaf area index* (LAI) merupakan perbandingan antara luas daun tanaman (cm^2) dengan luas lahan yang dinaungi atau dalam jarak tanam (cm^2).

Laju asimilasi bersih (LAB) atau *net assimilation rate* (NAR) adalah kemampuan tanaman menghasilkan bahan kering hasil asimilasi tiap satuan luas daun tiap satuan waktu ($\text{g}/\text{dm}^2/\text{minggu}$).

Laju pertumbuhan nisbi (LPN) atau *relative growth rate* (RGR) yaitu kemampuan tanaman menghasilkan bahan kering hasil asimilasi tiap satuan bobot kering awal tiap satuan waktu ($\text{g}/\text{g}/\text{minggu}$).

Laju pertumbuhan tanaman (LPT) atau *crop growth rate* (CGR) adalah kemampuan tanaman menghasilkan bahan kering hasil asimilasi tiap satuan luas lahan tiap satuan waktu tertentu yang pendek ($\text{g/m}^2/\text{minggu}$).

Leaf area ratio (LAR) adalah ratio luas daun dengan bobot kering daun dari suatu tanaman pada waktu tertentu.

Logarithmic fase adalah fase pertumbuhan tanaman sangat cepat dan bersifat linier naik

Meristem apical adalah tempat pertumbuhan tanaman (letak jaringan meristem) terletak pada ujung suatu organ.

Meristem lateral yaitu meristem yang berkaitan dengan pertumbuhan membesar (arah lateral).

Meristem interkalar yaitu meristem yang terletak antara daerah-daerah jaringan yang telah terdeferensiasi.

Morfogenesis merupakan proses hidup yang menyangkut interaksi pertumbuhan dan diferensiasi oleh beberapa sel yang memacu terbentuknya organ.

Pembuahan (*fertilization*) adalah peristiwa peleburan sel kelamin jantan (*sperma*) dengan sel kelamin betina atau sel telur (*ovum*).

Penyerbukan (*pollination*) merupakan peristiwa jatuhnya serbuk sari (pollen) di atas kepala putik (*stigma*) atau pengangkutan serbuk sari (*pollen*) dari kepala sari (*anthera*) ke putik (*pistillum*).

Perkembangan (*development*) dapat diartikan suatu proses perubahan secara kualitatif atau mengikuti pertumbuhan tanaman atau bagian-bagiannya.

Pertumbuhan (*growth*) adalah penambahan volume yang bersifat *irreversible* (tak terbalikan) yang diikuti oleh penambahan bobot kering.

Pertumbuhan generatif adalah pertumbuhan organ yang dimulai dengan terbentuknya primordia bunga hingga buah masak.

Senescence adalah fase penuaan atau aging.

Sink adalah organ yg menerima hasil fotosintesis (akar, batang, biji, buah)

Source adalah sumber dimana terjadi fotosintesis (daun)

Steady fase adalah fase persiapan pertumbuhan yaitu pertumbuhan tanaman yang masih tampak lambat atau diam.

Stored capacity (SC) adalah kemampuan tanaman untuk menyimpan karbohidrat atau hasil fotosintesis.

Tanaman hari pendek merupakan tanaman yang berbunga jika mendapatkan lama siang kurang dari 12 jam setiap harinya (stroberi).

Tanaman hari panjang merupakan tanaman yang berbunga jika mendapatkan lama siang lebih dari 12 jam setiap harinya (bayam).

Tanaman hari netral merupakan tanaman yang berbunga tidak bergantung pada lamanya siang setiap hari (mawar).

Tanaman *intermediate* yaitu tanaman akan berbunga apabila mendapatkan fotoperiode lebih panjang daripada fotoperiode kritik bawah dan lebih pendek daripada fotoperiode kritik atas.

Unsur hara makro merupakan unsur hara yang diperlukan tanaman dalam jumlah banyak, yaitu: karbon, hidrogen, oksigen, nitrogen, sulfur, fosfor, potasium (kalium), dan magnesium (C, H, O, N, S, P, K, S, Ca, dan Mg).

Unsur hara mikro merupakan unsur hara yang diperlukan tanaman dalam jumlah sedikit, seperti: besi, tembaga, seng, mangan, kobalt, natrium, boron, klor, dan molybdenum (Fe, B, Mn, Cu, Zn, Mo, Cl, dan Ni).

AUTOBIOGRAFI PENULIS



Dr. Ir. Paiman, M.P. merupakan dosen tetap Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas PGRI Yogyakarta (UPY).

Jenjang Pendidikan Formal:

- Pendidikan Strata-1 (S1) pada Jurusan Budidaya Pertanian, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian “STIPER” Yogyakarta diselesaikan pada tahun 1991.
- Pendidikan Strata-1 (S2) pada Program Studi Agronomi, Universitas Gadjah Mada Yogyakarta diselesaikan pada tahun 1994.
- Pendidikan Strata-3 (S3) pada Program Studi Ilmu-ilmu Pertanian (minat ilmu gulma), Universitas Gadjah Mada Yogyakarta diselesaikan pada tahun 2014.

Jabatan Struktural Kampus:

- Jabatan sebagai Kaprodi Agronomi, Fakultas Pertanian UPY pada tahun 1997-2001.
- Jabatan sebagai Wakil Dekan, Fakultas Pertanian UPY pada tahun 2001-2005.
- Jabatan sebagai Dekan, Fakultas Pertanian UPY pada tahun 2005-2009.
- Jabatan sebagai Wakil Dekan, Fakultas Pertanian periode pertama tahun 2009-2013 dan dilanjutkan periode kedua tahun 2013-2017.
- Jabatan sebagai Sekretaris, Yayasan Pembina Universitas PGRI Yogyakarta (YP-UPY) pada tahun 2013-2017.
- Jabatan sebagai Rektor UPY pada periode pertama tahun 2017-2021.
- Jabatan sebagai Rektor UPY pada periode kedua tahun 2021-2025.

Buku yang telah ditulis ber-ISBN:

1. Perancangan Percobaan untuk Pertanian
2. Solarisasi Tanah: Teknologi Pengendalian Organisme Pengganggu Tanaman (OPT) tanpa Pestisida
3. Teknik Analisis Regresi Ilmu-ilmu Pertanian
4. Gulma Tanaman Pangan

