

# MORFOLOGI DAN FISILOGI TANAMAN PADI

A. Karim Makarim dan E. Suhartatik  
*Balai Besar Penelitian Tanaman Padi*

## 1. PENDAHULUAN

**M**orfologi tanaman adalah ilmu yang mempelajari bentuk luar tanaman dan organ-organnya sehingga memungkinkan suatu spesies atau varietas dapat dibedakan secara visual. Apabila bentuk tersebut dipelajari lagi secara lebih rinci sehingga jelas susunannya, ilmu tersebut dinamakan Anatomi tanaman.

Fisiologi Tanaman adalah ilmu yang mempelajari proses pertumbuhan dan perkembangan tanaman (Salisbury dan Ross, 1978). Contohnya, proses fotosintesis, respirasi, penyerapan hara, perkecambahan benih, pertumbuhan organ-organ tanaman, pembentukan dan pertumbuhan bunga, gabah dan malai, proses pemasakan gabah, dan sebagainya. Oleh karena jalannya proses dipengaruhi juga oleh bentuk organ tanaman, seperti sudut daun, kanopi atau tajuk tanaman, besar batang, dan sebagainya sehingga ilmu yang mempelajari keterkaitan tersebut dinamakan morfofisiologi tanaman. Demikian pula, adanya keterkaitan antara morfofisiologi tanaman dan lingkungan menjadikan ilmu tersendiri yang disebut Ekofisiologi. Ekofisiologi lebih menekankan pada pengaruh faktor lingkungan terhadap proses di dalam tanaman.

Morfologi tanaman menyangkut bentuk dan struktur organ tanaman yang merupakan dasar utama dalam klasifikasi tanaman dan digunakan sebagai alat untuk mengenal adaptasi tanaman terhadap lingkungannya.

Berdasarkan adanya hubungan morfologi dan produktivitas tanaman, maka timbul gagasan untuk menciptakan suatu tipe tanaman yang ideal (*ideotype*). Beberapa ahli fisiologi mencoba menyusun suatu rancangan tanaman yang produktif dengan mengaplikasikan prinsip-prinsip ilmu pengetahuan dalam memecahkan permasalahan praktis (Ishizuka, 1969; Loomis and Williams, 1969). Dalam hal ini, para ahli fisiologi dan pemulia harus bekerja erat. Salah satu bukti keberhasilan kerja sama tersebut adalah pengembangan varietas-varietas unggul padi sawah bertipe daun tegak dan tanggap terhadap pemupukan, yang sampai kini dianggap sebagai jantungnya revolusi hijau (Barker, 1972).

Ilmu fisiologi berkembang melalui pengenalan struktur tanaman yang dikaitkan dengan fungsinya (Esau, 1977; Whittaker, 1975). Bidwell (1974) menyebutkan bahwa fisiologi tanaman mempelajari berbagai proses

pertumbuhan sehingga dapat menerangkan hal-hal yang terjadi pada tanaman. Oleh karena itu, Howell (1977) menyatakan bahwa mereka yang terlibat dalam disiplin fisiologi tanaman ditantang untuk menemukan faktor-faktor yang membatasi hasil tanaman dan dapat menemukan cara untuk meningkatkan potensi hasil tanaman.

Bidang ekofisiologi dapat dimanfaatkan dalam dua aspek utama, yaitu: (1) menerjemahkan karakteristik lingkungan tumbuh menjadi dugaan keragaman pertumbuhan dan hasil tanaman sehingga pewilayahan komoditas dan produktivitas dimungkinkan; dan (2) memberikan saran modifikasi lingkungan tumbuh mendekati optimal melalui cara budi daya yang tepat, agar penyerapan hara, pemanfaatan radiasi surya dan proses pertumbuhan tanaman dapat berlangsung secara optimal.

Oleh karena bidang ekofisiologi dapat menerangkan proses dinamik di dalam tanaman sebagai responss terhadap faktor eksternal, yaitu lingkungan dan pengelolaan, maka model dinamik, simulasi dan analisis sistem sangat tepat untuk diterapkan bagi upaya peningkatan produktivitas.

Berdasarkan pengamatan dan studi yang telah dilaksanakan, Lu dan Chang (1980) menyimpulkan bahwa *Oryza sativa* dan *Oryza glaberrima* berasal dari leluhur yang sama, yakni *Oryza perennis* Moench, dengan Gondwanaland sebagai habitat asal. Proses evolusi kedua *cultigen* tersebut hingga berkembang menjadi tiga ras *ecogeographic*, yakni Sinica (dulu dikenal dengan Japonica), Indica dan Javanica.

Dalam perjalanan evolusi padi, Chang (1976) menyimpulkan bahwa *O. sativa* telah mengalami perubahan-perubahan morfologik dan fisiologik selama proses pembudi dayaan. Perubahan-perubahan tersebut meliputi ukuran daun yang menjadi lebih besar, lebih panjang, dan lebih tebal. Jumlah daun juga menjadi lebih banyak dan laju pertumbuhan tanaman lebih cepat. Jumlah cabang-cabang sekunder pada malai juga lebih banyak, bobot gabah lebih tinggi, laju pertumbuhan bibit lebih cepat, anakan menjadi lebih banyak, dan pembentukan malai lebih sinkron dengan perkembangan anakan. Selain itu, pengisian gabah menjadi lebih lama, tetapi kemampuan untuk membentuk rizoma berkurang, dormansi lebih pendek, kurang peka terhadap panjang hari, dan tanaman menjadi lebih *inbred* daripada *cross-pollinated*.

## 2. SIKLUS HIDUP TANAMAN PADI

Pertumbuhan tanaman padi dibagi ke dalam tiga fase: (1) vegetatif (awal pertumbuhan sampai pembentukan bakal malai/primordia); (2) reproduktif (primordia sampai pembungaan); dan (3) pematangan (pembungaan sampai gabah matang) (Gambar 1).

*Fase vegetatif* merupakan fase pertumbuhan organ-organ vegetatif, seperti pertambahan jumlah anakan, tinggi tanaman, jumlah, bobot, dan luas daun. Lama fase ini beragam, yang menyebabkan adanya perbedaan umur tanaman (De Datta, 1981; Yoshida, 1981). Fase reproduktif ditandai dengan: (a) memanjangnya beberapa ruas teratas batang tanaman; (b) berkurangnya jumlah anakan (matinya anakan tidak produktif); (c) munculnya daun bendera; (d) bunting; dan (e) pembungaan. Inisiasi primordia malai biasanya dimulai 30 hari sebelum *heading* dan waktunya hampir bersamaan dengan pemanjangan ruas-ruas batang, yang terus berlanjut sampai berbunga. Oleh sebab itu, stadia reproduktif disebut juga stadia pemanjangan ruas. Di daerah tropik, untuk kebanyakan varietas padi, lama fase reproduktif umumnya 35 hari dan fase pematangan sekitar 30 hari. Perbedaan masa pertumbuhan (umur) hanya ditentukan oleh lamanya fase vegetatif (Gambar 1). Sebagai contoh, IR64 yang matang dalam 110 hari mempunyai fase vegetatif 45 hari, sedangkan IR8 yang matang dalam 130 hari fase vegetatifnya 65 hari.

Secara lebih detail, tiga fase pertumbuhan di atas diuraikan menjadi 10 tahapan pertumbuhan yang diberi kode angka 0–9.

**Tahap 0** – benih berkecambah sampai muncul ke permukaan: Benih biasanya dikecambahkan melalui perendaman selama 24 jam dan diinkubasi juga selama 24 jam. Pada hari ke-2 atau ke-3 setelah benih disebar di persemaian, daun pertama menembus keluar melalui koleoptil. Akhir tahap 0 memperlihatkan daun pertama yang muncul masih melengkung dan bakal akar (radikula) memanjang.

**Tahap 1** – Pertunasan atau bibit, yaitu sejak benih berkecambah, tumbuh menjadi tanaman muda (bibit) hingga hampir keluar anakan pertama. Selama

| PERIODE/FASE PERTUMBUHAN |         |             |            |
|--------------------------|---------|-------------|------------|
| VEGETATIF                |         | REPRODUKTIF | PEMATANGAN |
| IR64                     |         |             |            |
| 45 hari                  | 35 hari | 30 hari     | 110        |
| IR8                      |         |             |            |
| 65 hari                  | 35 hari | 30 hari     | 130        |

**Gambar 1.** Fase utama pertumbuhan tanaman padi dan lama tiap fase  
(Sumber: IRRI, 2007)

tahap ini, akar seminal dan lima daun terbentuk. Sementara tunas terus tumbuh, dua daun lagi terbentuk. Daun terus berkembang pada kecepatan 1 daun setiap 3–4 hari selama tahap awal pertumbuhan. Kemunculan akar sekunder membentuk sistem perakaran serabut permanen dengan cepat menggantikan radikula dan akar seminal sementara.

**Tahap 2** – Pembentukan Anakan; berlangsung sejak munculnya anakan pertama sampai pembentukan anakan maksimum tercapai. Anakan muncul dari tunas aksial pada buku batang dan menggantikan tempat daun serta tumbuh dan berkembang. Setelah tumbuh, anakan pertama memunculkan anakan sekunder, ini terjadi pada 30 hari setelah tanam pindah. Tanaman memanjang dan aktif membentuk anakan. Anakan terus berkembang sampai tanaman memasuki tahap pertumbuhan berikutnya, yaitu pemanjangan batang. Anakan aktif ditandai dengan pertambahan anakan yang cepat sampai tercapai anakan maksimal. Stadia anakan maksimal dapat bersamaan, sebelum atau sesudah inisiasi primordia malai. Fase tumbuh dari anakan maksimal sampai inisiasi malai disebut *vegetative-lag*, yang merupakan sasaran pemuliaan untuk memperpendek umur tanaman. Setelah anakan maksimal tercapai, sebagian dari anakan akan mati dan tidak menghasilkan malai, anakan tersebut dinamakan anakan yang tidak efektif.

**Tahap 3** – Pemanjangan batang; terjadi sebelum pembentukan malai atau pada tahap akhir pembentukan anakan. Oleh karenanya bisa terjadi tumpang tindih dari tahap 2 dan 3. Anakan terus meningkat dalam jumlah dan tingginya. Periode waktu pertumbuhan berkaitan nyata dengan memanjangnya batang. Batang lebih panjang pada varietas yang pertumbuhannya lebih lama. Dalam hal ini, varietas padi dapat dikategorikan pada dua grup, yaitu: varietas berumur pendek (masak dalam 105–120 hari) dan varietas berumur panjang (masak dalam 150 hari). Pada varietas umur pendek/genjah, seperti IR64, buku kelima dari batang, di bawah kedudukan malai, memanjang hanya 2–4 cm terlihat kasat mata sebelum pembentukan malai. Keempat tahap pertama ini merupakan fase vegetatif, awal dari pertumbuhan tanaman padi.

**Tahap 4** – Pembentukan malai sampai bunting; Pada varietas genjah, bakal malai (primordia) terlihat berupa kerucut putih panjang 1,0–1,5 mm. Pertama kali muncul pada ruas buku utama, kemudian pada anakan dengan pola tidak teratur. Dapat terlihat dengan membelah batang (Gambar 2a). Inisiasi primordia malai sebenarnya hanya dapat dilihat secara mikroskopik. Stadia primordia dalam praktik sehari-hari, sebagai indikator saat pemupukan nitrogen susulan, pada hakikatnya bukan lagi inisiasi primordia malai, sebab pada saat itu panjang malai sudah mencapai 1 mm (De Datta, 1981; Yoshida, 1981). Matsushima (1970) menyebutkan keadaan ini sebagai fase awal diferensiasi sel-sel gabah.

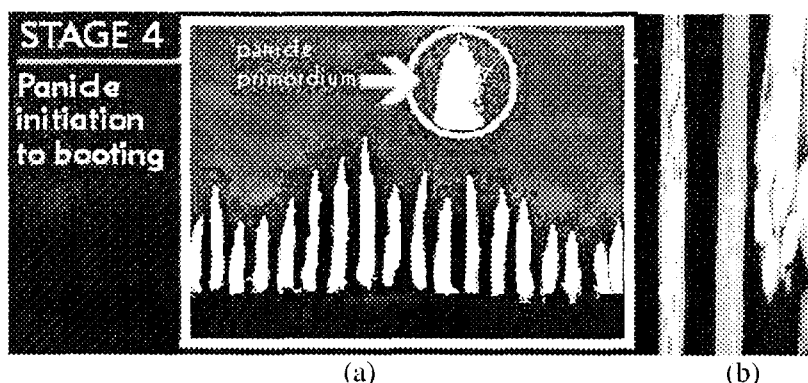
Saat malai terus berkembang bulir (*spikelets*) terlihat dan dapat dibedakan. Malai muda meningkat dalam ukuran dan berkembang ke atas di dalam pelepah

daun bendera menyebabkan pelepah daun menggebu. Pengembangan daun bendera ini disebut bunting (Gambar 2b). Bunting terlihat terjadi pertama kali pada ruas batang utama. Pada tahap bunting, ujung daun layu (menjadi tua dan mati) dan anakan non-produktif terlihat pada bagian dasar tanaman.

**Tahap 5 – Heading** (keluarnya bunga atau malai); dikenal juga sebagai tahap keluar malai. *Heading* ditandai dengan munculnya ujung malai dari pelepah daun bendera. Malai terus berkembang sampai keluar seutuhnya dari pelepah daun. Antesis (pembungaan) terjadi segera setelah *heading*. Oleh sebab itu, *heading* diartikan sama dengan antesis ditinjau dari segi hari kalender. Dalam suatu rumpun atau suatu komunitas tanaman, fase *heading* memerlukan waktu 10–14 hari karena terdapat perbedaan laju perkembangan antartanaman maupun antaranakan. Apabila 50% bunga telah keluar, maka pertanaman tersebut dianggap sudah dalam fase pembungaan (Yoshida, 1981).

**Tahap 6 – Pembungaan (*anthesis*)**; dimulai ketika benang sari bunga yang paling ujung pada tiap cabang malai telah tampak keluar dari bulir dan terjadi proses pembuahan. Pada umumnya, antesis berlangsung antara pukul 08:00–13:00 dan persarian (pembuahan) akan selesai dalam 5–6 jam setelah antesis. Dalam suatu malai, semua bunga memerlukan 7–10 hari untuk antesis, tetapi pada umumnya hanya 5 hari. *Anthesis* terjadi 25 hari setelah bunting (Vergara, 1980; Yoshida, 1981). Pada pembungaan, kelopak bunga terbuka, antera menyembul keluar dari kelopak bunga (*flower glumes*) karena pemanjangan stamen dan serbuk sari tumpah, kelopak bunga kemudian menutup.

Serbuk sari jatuh ke putik sehingga terjadi pembuahan. Struktur *pistil* F2 berbulu di mana pipa (*tube*) tepung sari dari serbuk sari yang muncul akan mengembang ke *ovarium*. Pembungaan terjadi sehari setelah *Heading*. Pada umumnya, floret membuka pada pagi hari. Semua spikelet pada malai membuka



Gambar 2. (a) bakal malai muncul dan tumbuh di dalam batang padi pada fase inisiasi bunga (primordia) hingga bunting; (b) pelepah daun bendera tampak menggebu karena berkembangnya bakal malai (Sumber: IRRI, 2007)

dalam tujuh hari. Pada saat pembungaan, 3–5 daun masih aktif. Tahap 4, 5, dan 6 merupakan fase reproduktif, fase kedua dari pertumbuhan padi.

Berdasarkan hal-hal tersebut di atas, maka dapat diperkirakan bahwa berbagai komponen pertumbuhan dan hasil telah mencapai maksimal sebelum bunganya sendiri keluar dari pelepah daun bendera. Jumlah malai pada tiap satuan luas tidak bertambah lagi 10 hari setelah anakan maksimal, jumlah gabah pada tiap malai telah ditentukan selama periode 32 sampai lima hari sebelum *Heading*. Sementara itu, ukuran gabah hanya dapat dipengaruhi oleh radiasi selama 2 minggu sebelum antesis (Matsushima, 1970).

**Tahap 7** – gabah matang susu. Pada tahap ini, gabah mulai terisi dengan cairan kental berwarna putih susu. Bila gabah ditekan, maka cairan tersebut akan keluar. Malai hijau dan mulai merunduk. Pelayuan (*senescence*) pada dasar anakan berlanjut. Daun bendera dan dua daun di bawahnya tetap hijau.

**Tahap 8** – gabah  $\frac{1}{2}$  matang (*dough grain stage*). Pada tahap ini, isi gabah yang menyerupai susu, berubah menjadi gumpalan lunak dan akhirnya mengeras. Gabah pada malai mulai menguning. Pelayuan (*senescence*) dari anakan dan daun di bagian dasar tanaman tampak semakin jelas. Pertanaman terlihat menguning. Seiring menguningnya malai, ujung dua daun terakhir pada setiap anakan mulai mengering.

**Tahap 9** – Gabah matang penuh; Setiap gabah matang, berkembang penuh, keras, dan berwarna kuning. Daun bagian atas mengering dengan cepat (daun dari sebagian varietas ada yang tetap hijau). Sejumlah daun yang mati terakumulasi pada bagian dasar tanaman.

Tahap 7, 8, dan 9 merupakan fase pematangan, fase akhir dari perkembangan pertumbuhan tanaman padi. Periode pemasakan ini memerlukan waktu kira-kira 30 hari dan ditandai dengan penuaan daun. Suhu sangat memengaruhi periode pemasakan gabah (Vergara, 1980; Yoshida, 1981).

### 3. MORFOLOGI TANAMAN PADI

Morfologi suatu tanaman sangat berpengaruh terhadap produktivitasnya. Misalnya, efektivitas menangkap radiasi surya, suhu mikro tajuk tanaman, ketersediaan air bagi tanaman akibat perakarannya yang berbeda dalam penyebarannya. Pemahaman tentang bentuk dan fungsi dari organ-organ tanaman padi diperlukan antara lain untuk merancang tipe tanaman padi ideal. Pada subbab ini akan dibahas tentang morfologi dari tanaman padi, antara lain: gabah, akar, daun, dan tajuk, batang, bunga, dan malai.

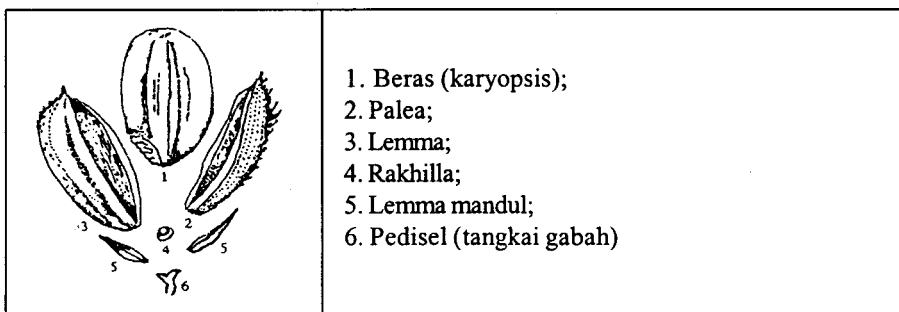
### 3.1 Gabah

Gabah terdiri atas biji yang terbungkus oleh sekam. Biji yang sehari-hari dikenal dengan nama beras pecah kulit adalah karyopsis yang terdiri atas janin (*embrio*) dan endosperma yang diselimuti oleh lapisan aleuron, kemudian tegmen dan lapisan terluar disebut perikarp (Gambar 1). Dalam jenis-jenis japonika, sekam terdiri atas gluma rudimenter dan sebagian dari tangkai gabah (*pedicel*), sedangkan pada jenis-jenis indika, sekam dibentuk oleh palea, lemma mandul, dan rakhilla (Chang dan Bardenas, 1976; Yoshida, 1981). Perbedaan tersebut disebabkan oleh perbedaan bagian tanaman, di mana gabah itu lepas atau rontok (*disarticulation*). Pada jenis-jenis japonika, gabah lepas dari malai pada bagian bawah gluma, sedangkan pada jenis-jenis indika, *disarticulation* letaknya di atas gluma (Gould, 1968; Hitchcock, 1971).

Gluma dan lemma diduga berasal dari pelepah daun, sedangkan palea mirip dengan profilla (Gould, 1968). Lemma selalu lebih besar dari palea dan menutupi hampir 2/3 permukaan beras, sedangkan sisi palea tepat bertemu pada bagian sisi lemma (Yoshida, 1981).

Bobot gabah beragam dari 12–44 mg pada kadar air 0%, sedangkan bobot sekam rata-rata adalah 20% bobot gabah. Faktor konversi dari gabah ke beras pecah kulit adalah 0,8 dan dari beras pecah kulit ke gabah adalah 1,25. Akan tetapi, faktor konversi tersebut berbeda berdasarkan varietas (Yoshida, 1981).

Pada umumnya, jenis-jenis indika memiliki dormansi selama beberapa minggu. Sifat ini cocok untuk daerah basah di tropik karena suhu dan kelembapan sangat sesuai untuk perkecambahan. Apabila yang diusahakan adalah jenis-jenis yang tidak memiliki dormansi atau dormansinya lemah, maka perkecambahan biji dapat terjadi pada masa pertanaman (Yoshida, 1981). Perkecambahan terjadi apabila dormansi benih telah dilalui. Benih disebut berkecambah apabila radikula telah tampak keluar menembus koleorhiza diikuti



Gambar 3. Struktur gabah tanaman padi  
Sumber : Yoshida, 1981

oleh munculnya koleoptil yang membungkus daun. Dalam keadaan terendam, kole-optil muncul lebih dahulu, kemudian diikuti oleh koleorhiza (Chang dan Bardenas, 1976; Hitchcock, 1971). Benih yang dikecambahkan dalam keadaan gelap atau ditanam terlalu dalam akan menghasilkan akar mesokotil.

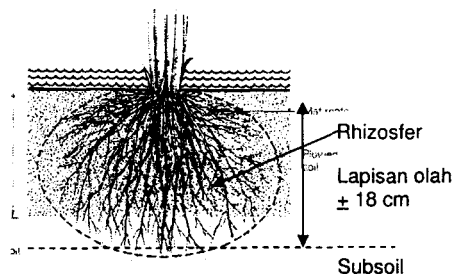
### 3.2 Akar

Akar berfungsi sebagai penguat/penunjang tanaman untuk dapat tumbuh tegak, menyerap hara dan air dari dalam tanah untuk selanjutnya diteruskan ke organ lainnya di atas tanah yang memerlukan.

Akar tanaman padi termasuk golongan akar serabut (Gambar 4). Akar primer (radikula) yang tumbuh sewaktu berkecambah bersama akar-akar lain yang muncul dari janin dekat bagian buku skutellum disebut akar seminal, yang jumlahnya antara 1–7. Apabila terjadi gangguan fisik terhadap akar primer, maka pertumbuhan akar-akar seminal lainnya akan dipercepat (Chang dan Bardenas, 1976; Gould, 1968, Murata, 1969). Akar-akar seminal selanjutnya akan digantikan oleh akar-akar sekunder yang tumbuh dari buku terbawah batang. Akar-akar ini disebut adventif atau akar-akar buku karena tumbuh dari bagian tanaman yang bukan embrio atau karena munculnya bukan dari akar yang telah tumbuh sebelumnya.

Perkembangan akar sangat dipengaruhi oleh tersedianya N. Pertumbuhan akar hanya akan terjadi secara aktif bila kadar N pada batang lebih dari 1% (Murata dan Matsushima, 1978; Yoshida, 1981).

Perkembangan akar berhubungan erat dengan perkembangan daun. Apabila daun yang ke-n pada batang utama telah memanjang, maka akan muncul akar sekunder pada buku yang ke-(n-3) (Murata dan Matsushima, 1978; Yoshida, 1981). Berbeda dengan sistem perakaran tanaman berkeping dua, maka akar tanaman padi tidak memiliki pertumbuhan sekunder (Esau, 1977). Dengan demikian, diameter akar tidak akan banyak berubah sejak tumbuh.



**Gambar 4.** Perkembangan akar tanaman padi  
Sumber: Yoshida, 1981



Akar tanaman padi selain berperan secara fisik, juga berperan dalam berbagai proses kimia, biokimia, dan biologi di lingkungan tanaman. Pada proses penyerapan hara, akar tanaman dari varietas tertentu menyerap hara kation (muatan listrik +) lebih banyak daripada anion (muatan listrik -) akan selalu melepaskan ion  $H^+$  ke medium (tanah) guna mempertahankan keseimbangan muatan listrik di dalam tanaman dan tanah. Hal ini menyebabkan terjadinya pemasaman di lingkungan perakaran sehingga ion  $Al^{3+}$  lebih larut. Varietas seperti ini biasanya bersifat peka terhadap keracunan Al. Pada varietas lainnya, penyerapan hara anion lebih banyak daripada kation sehingga ion bikarbonat ( $HCO_3^-$ ) dilepaskan akar ke medium, yang selanjutnya dengan air terlepas ion hidroksil ( $OH^-$ ), yang menyebabkan kenaikan pH. Mekanisme ini menyebabkan varietas tanaman lebih toleran terhadap kemasaman tanah dan keracunan Al. Kation utama yang diserap akar adalah  $NH_4^+$ ,  $K^+$ ,  $Mg^{++}$ ,  $Ca^{++}$ , sedangkan anionnya terutama  $NO_3^-$ ,  $H_2PO_4^-$ ,  $Cl^-$ , dan  $SO_4^{2-}$  (Yoshida, 1981).

Perakaran beberapa varietas padi, juga sering kali melepas eksudat berupa senyawa organik ke sekitarnya (tanah). Senyawa ini dalam tanah dapat berpengaruh positif dan negatif, yaitu (1) memberikan energi dan substrat bagi mikroorganisme tanah yang ada di sekitar perakaran, seperti bakteri penambat N, pelarut P, namun juga terhadap bakteri metanogenik pelepas gas metan; (2) mengkhelat ion Al, Fe, dan hara mikro sehingga mudah diserap akar tanaman; (3) memperbaiki struktur tanah, sebagai perekat dan penyekat antarfraksi (pasir, debu, liat) tanah.

Akar tanaman padi juga memiliki kekuatan mengoksidasi lingkungan sekitarnya yang disebut *oxydizing power*. Kemampuan ini menyebabkan akar tanaman padi lebih toleran terhadap keracunan besi, melalui oksidasi ion fero ( $Fe^{++}$ ) yang dapat menghambat pertumbuhan akar tanaman padi menjadi ion feri ( $Fe^{+++}$ ) yang tidak berbahaya.

### 3.3 Daun dan Tajuk

Daun merupakan bagian dari tanaman yang berwarna hijau karena mengandung khlorofil (zat hijau daun). Adanya klorofil ini menyebabkan daun tanaman dapat mengolah sinar radiasi surya menjadi karbohidrat/energi untuk tumbuh-kembangnya organ-organ tanaman lainnya atau disebut sebagai *sources*.

Daun tanaman padi tumbuh pada batang dalam susunan yang berselang-seling, satu daun pada tiap buku. Tiap daun terdiri atas (i) helai daun; (ii) pelepah daun yang membungkus ruas; (iii) telinga daun (*auricle*); (iv) lidah daun (*ligule*). Adanya telinga dan lidah daun pada padi dapat digunakan untuk membedakannya dengan rumput-rumputan pada stadia bibit (*seedling*) karena daun rumput-rumputan hanya memiliki lidah atau telinga daun atau tidak ada sama sekali (Anonim, 1970).

Daun teratas disebut daun bendera yang posisi dan ukurannya tampak berbeda dari daun yang lain. Satu daun pada awal-awal fase tumbuh memerlukan waktu 4–5 hari untuk tumbuh secara penuh, sedangkan pada fase tumbuh selanjutnya, diperlukan waktu yang lebih lama, yakni 8–9 hari. Jumlah daun pada tiap tanaman bergantung pada varietas. Varietas-varietas baru di tropik memiliki 14–18 daun pada batang utama. Dalam suatu varietas yang memiliki 14 daun, maka daun ke-4 (dihitung dari daun bendera) adalah daun terpanjang yang terbentuk sebelum inisiasi malai. Daun-daun selanjutnya akan berangsur menjadi lebih kecil, yang diduga sebagai akibat dari kompetisi dengan malai yang sedang tumbuh untuk memperoleh substrat (Vergara, 1980).

Sifat-sifat daun merupakan salah satu sifat morfologik yang berkaitan erat dengan produktivitas tanaman. Jennings *et al.* (1979) memasukkan daun sebagai organ yang harus diukur dalam pemuliaan, seperti ketegakan, panjang, lebar, ketebalan, warna, kelembutan, dan penuaan daun.

Bertambah luasnya daun pada komunitas tanaman disebabkan oleh 2 faktor, yakni: (i) meningkatnya jumlah anakan, dan (ii) meningkatnya luas tiap daun itu sendiri. Peningkatan indeks luas daun bagi varietas-varietas beranak banyak, didominasi oleh faktor pertama, sedangkan dalam varietas beranak sedikit, faktor kedua yang lebih menonjol (Murata dan Matsushima, 1978).

Sifat-sifat daun yang dikehendaki adalah daun yang tumbuhnya tegak, tebal, kecil, dan pendek. Luas daun total pada tiap satuan luas lahan disebut Indeks Luas Daun (ILD). ILD akan mencapai maksimal kira-kira sebelum berbunga. Walaupun pemupukan akan meningkatkan ILD dan akan memperbaiki sistem asimilasinya, berbagai varietas menunjukkan sifat-sifat yang spesifik. Tsunoda (1959) mengelompokkan varietas ke dalam dua kelompok, yakni: (a) varietas-varietas yang sesuai dengan pemupukan berat dan (b) varietas-varietas yang sesuai dengan pemupukan ringan. Dalam hubungan ini, Tsunoda menyimpulkan bahwa daun-daun yang tipis dan terkulai (*droopy*) akan lebih cocok menerima radiasi surya tinggi apabila hanya sedikit daun yang dapat dihasilkan per satuan luas sebagaimana halnya pada pemupukan ringan. Sebaliknya, apabila varietas dapat menghasilkan banyak daun, misalnya akibat pemupukan N dosis tinggi, maka daun yang tegak dan agak tegak lebih sesuai. Implikasi dari kesimpulan tersebut tampak pada varietas-varietas unggul padi yang dikembangkan dewasa ini.

Tingginya ILD pada padi bukanlah menjadi tujuan, sebab padi memiliki ILD optimal antara 4–7 sebagaimana telah dikemukakan oleh Yoshida (1981). Dalam hubungan ini, Ishizuka (1969) menyatakan bahwa dalam keadaan populasi yang tetap, ILD sangat ditentukan oleh jumlah anakan sehingga ILD akan optimal tergantung pada cara pengaturan dan posisi anakan karena jumlah daun pada tiap batang utama sudah tetap.

Panjang daun lebih beragam dibandingkan dengan lebarnya dan dikaitkan dengan sudut daun. Daun yang lebih panjang cenderung lebih terkulai, maka daun yang pendek dan kecil akan lebih tegak. Secara teoritik, daun yang demikian akan tersebar secara merata pada tajuk. Pada keadaan ILD yang sama, tanaman yang memiliki tajuk yang besar, tetapi berdaun kecil akan memiliki fotosintesis yang lebih tinggi dibandingkan dengan tanaman yang memiliki tajuk kecil walaupun daunnya lebar (Yoshida, 1981). Hubungan ketebalan daun dengan tingginya potensi hasil tidak konsisten (Yoshida, 1981). ketebalan daun tercermin dalam luas daun spesifik atau bobot daun spesifik (*specific leaf weight*).

Selain daun, tajuk yang merupakan kumpulan daun yang tersusun rapi dengan bentuk, orientasi, dan besar (dalam jumlah dan bobot)nya tertentu antarvarietas padi sangat beragam. Tajuk menangkap radiasi surya untuk fotosintesis. Bentuk tajuk dapat dinyatakan dalam nilai menggunakan parameter statistik, *skewness*, yaitu kesimetrisan distribusi luas daun. Koefisien *skewness* dari 20 varietas yang dicobakan berkisar antara  $-0,035$ , yaitu IR70 dan  $+0,348$ , yaitu IR66, sedangkan IR64 mempunyai *skewness* sebesar  $+0,177$ . Semakin kecil nilai *skewness*, semakin luas bagian daun tanaman di bagian atas dan semakin berat biomas yang dihasilkan, akibat lebih efektifnya tajuk menyerap radiasi surya (Sutoro dan Makarim, 1997). Cara ini dapat digunakan dalam program skrining varietas padi berpotensi hasil tinggi.

### 3.4 Batang

Batang berfungsi sebagai penopang tanaman, penyalur senyawa-senyawa kimia dan air dalam tanaman, dan sebagai cadangan makanan; Hasil tanaman yang tinggi harus didukung dengan batang padi yang kokoh. Bila tidak, tanaman akan rebah terutama di daerah yang sering dilanda angin kencang.

Batang terdiri atas beberapa ruas yang dibatasi oleh buku. Daun dan tunas (anakan) tumbuh pada buku. Pada permukaan stadia tumbuh batang yang terdiri atas pelepah-pelepah daun dan ruas-ruas yang tertumpuk padat. Ruas-ruas tersebut kemudian memanjang dan berongga setelah tanaman memasuki stadia reproduktif. Oleh karena itu, stadia reproduktif disebut juga sebagai stadia perpanjangan ruas (De Datta, 1981; Yoshida, 1981).

Jumlah buku sama dengan jumlah daun ditambah dua, yakni satu buku untuk tumbuhnya koleoptil dan yang satu lagi buku terakhir yang menjadi dasar malai. Ruas yang terpanjang adalah ruas yang teratas dan panjangnya berangsur menurun sampai ke ruas yang terbawah dekat permukaan tanah. Perpanjangan ruas tersebut pada varietas-varietas berumur genjah berbeda dengan varietas berumur dalam. Pada varietas berumur genjah, perpanjangan ruas mulai sekitar inisiasi primordia malai. Sebaliknya, pada varietas-varietas berumur dalam,

perpanjangan ruas terjadi sebelum inisiasi primordia malai (Vergara, 1980; Yoshida, 1981).

Kerebahan tanaman dapat menurunkan hasil tanaman secara drastis. Kerebahan umumnya terjadi akibat melengkung atau patahnya 2 antarbuku batang terbawah, yang panjangnya lebih dari 4 cm. Kekuatan antarbuku batang tersebut dipengaruhi oleh (a) kekuatan mekanik, yaitu ketebalan batang dan kekuatan jaringan; (b) komposisi kimia; dan (c) status hara tanaman. Kekuatan mekanik ini meningkat dengan pemberian kalium, akibat menebalnya batang dan mempertahankan tekanan turgor sel-sel batang yang tinggi (Yoshida, 1981). Senyawa/unsur kimia organik dan anorganik yang paling berpengaruh terhadap kekuatan batang masing-masing adalah holoselulosa dan kalium. Tanaman yang memiliki keseimbangan hara yang baik, yang dapat mempertahankan sel batang dan daun tetap hidup. Sel-sel hidup ini menyumbang 30–60% dari kekuatan patah batang/rebah. Oleh karena itu, mempertahankan daun bawah tetap hijau akan memperkuat tanaman terhadap kerebahan di fase pemasakan gabah.

Batang yang pendek dan kaku merupakan sifat yang dikehendaki dalam pengembangan varietas-varietas unggul padi karena tanaman menjadi tahan rebah, perbandingan antara gabah dan jerami lebih seimbang, dan tanggap terhadap pemupukan nitrogen (Jennings *et al.*, 1979; Yoshida, 1981).

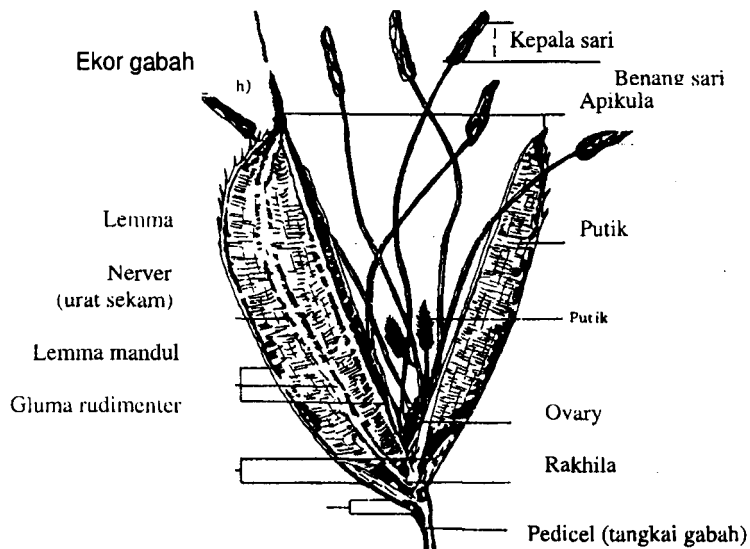
### 3.5 Bunga dan Malai

Bunga padi (Gambar 5) secara keseluruhan disebut malai. Tiap unit bunga pada malai dinamakan *spikelet* yang pada hakikatnya adalah bunga yang terdiri atas tangkai, bakal buah, lemma, palea, putik, dan benang sari serta beberapa organ lainnya yang bersifat inferior. Tiap unit bunga pada malai terletak pada cabang-cabang bulir yang terdiri atas cabang primer dan sekunder (Siregar, 1981).

Tiap unit bunga padi pada hakikatnya adalah *floret* yang hanya terdiri atas satu bunga. Pada jenis rumput-rumputan lainnya, *floret* tersebut dapat terdiri atas beberapa bunga yang merupakan ciri bentuk-bentuk primitif (Gould, 1968;

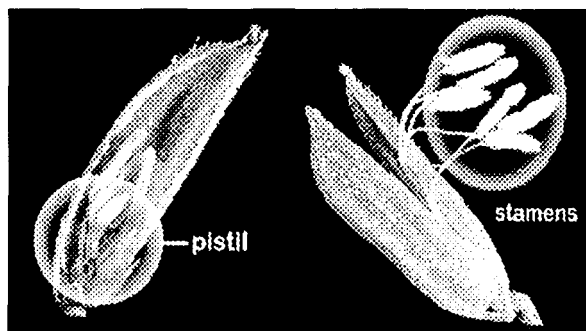
Satu *floret* berisi satu bunga dan satu bunga terdiri atas satu organ betina (*pistil*) dan 6 organ jantan (*stamens*) (Gambar 5). Stamen memiliki dua sel kepala sari yang ditopang oleh tangkai sari berbentuk panjang, sedangkan pistil terdiri atas satu ovul yang menopang dua stigma melalui stile pendek (Gambar 6).

Pada dasar bunga dekat palea ada dua struktur transparan yang dinamakan lodikula (*lodicules*) (Gambar 8). Lodikula ini menembus lemma dan palea yang terpisah sewaktu pembungaan agar pemanjangan benang sari (*stamens*) dapat tersembul dari floret yang membuka. Lemma dan palea tertutup setelah kepala sari (*anthers*) menyebarkan tepung sarinya (*pollen*) (Gambar 7).

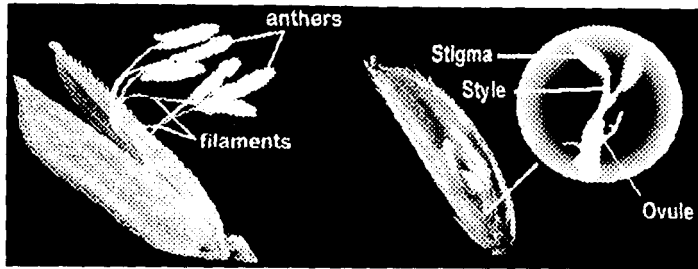


**Gambar 5.** Bagian-bagian bunga padi  
Sumber: Chang and Bardenas, 1976

Pada keadaan normal, persarian terjadi bersamaan dengan membukanya bunga. Tepung sari yang jatuh pada kepala putik segera berkecambah dalam 3 menit dan menghasilkan pipa tepung sari dan akan mencapai kantong janin melalui pintu mikropil. Dalam waktu  $\pm 30$  menit setelah persarian, 1 gamet jantan bersatu dengan 2 inti kutub sel telur dan membentuk endosperm dengan jumlah khromosom =  $3n$ . Ini terjadi 2,5–3 jam setelah persarian Gamet jantan yang satu lagi akan bersatu dengan 1 inti kutub sel telur dan membentuk sel telur yang diploid ( $2n$ ). Dua puluh empat jam setelah persarian maka akan terdapat  $\pm 40$  inti endosperm dan sel telur telah menjadi 4. Empat hari setelah antesis, kantong janin telah terisi oleh jaringan sel-sel endosperm dan mulai

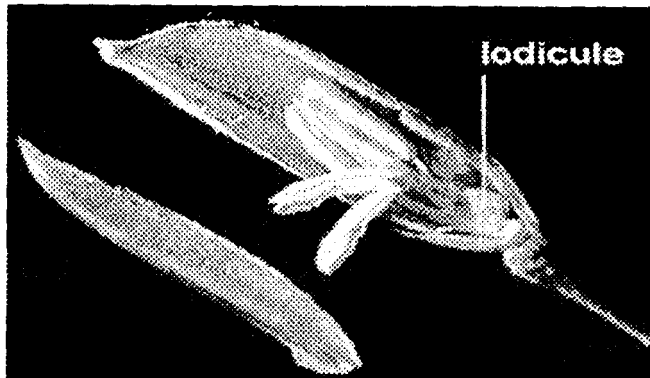


**Gambar 6.** Pistil (organ betina) dan Stamen (organ jantan) bunga padi  
Sumber: IRRI, 2007



Gambar 7. Anthers (kepala sari) dan filaments (benang sari), serta Stigma, style, and ovul

Sumber: IRRI, 2007



Gambar 8. Lodikula (*lodicule*)

Sumber: IRRI, 2007

membentuk karbohidrat dan dalam 10 hari gabah menjadi padat (Murata dan Matsushima, 1978; Vergara, 1980; Yoshida, 1981).

Malai terdiri atas 8–10 buku yang menghasilkan cabang-cabang primer dan cabang primer selanjutnya menghasilkan cabang sekunder. Tangkai buah (*pedicel*) tumbuh dari buku-buku cabang primer maupun cabang sekunder. Pada umumnya, dari buku pangkal malai hanya akan muncul satu cabang primer, tetapi dalam keadaan tertentu buku tersebut dapat menghasilkan 2–3 cabang primer. Malai yang demikian disebut malai betina. Terbentuknya malai betina dipengaruhi oleh suplai N pada stadia pemisahan sel-sel primordia buku leher malai (Matsushima, 1970; Yoshida, 1981).

#### 4. FISILOGI TANAMAN PADI

Beberapa ahli fisiologi menganggap bahwa pertumbuhan secara eksplisit bukan hanya peningkatan ukuran, tetapi harus dipandang sebagai suatu proses

pembangunan molekul-molekul kompleks, struktur molekul makro dan sel-sel, serta organella-organella (Jennings, *et al.*, 1979; Richards, 1969). Pertumbuhan hanyalah salah satu dari tiga proses yang saling berkaitan dalam perkembangan tanaman. Dua proses lainnya adalah diferensiasi sel (*cellular differentiation*) dan morfogenesis. Ketiga proses tersebut secara bersama-sama menentukan bentuk dan wujud perkembangan tanaman. Salisbury dan Ross (1978) memandang perkembangan atau morfogenesis sebagai suatu pengertian inklusif yang menyangkut dua fungsi primer, yakni pertumbuhan dan pemisahan sel-sel.

#### 4.1 Pertumbuhan Anakan

Anakan (tunas) mulai tumbuh setelah tanaman padi memiliki 4 atau 5 daun. Seperti halnya dengan akar, perkembangan anakan berhubungan dengan perkembangan daun. Apabila daun pada buku ke-*n* telah memanjang, maka pada saat itu anakan akan muncul dari ketiak daun pada buku yang ke- $(n-3)$  (Gambar 9).

Aturan ini berlaku juga bagi semua anakan sekunder dan tersier. Dengan demikian, maka tumbuhnya anakan dan akar terjadi pada saat yang bersamaan pada buku yang sama (Gambar 9). Akan tetapi, koleoptil dan daun pertama pada umumnya tidak menghasilkan anakan (Murata dan Matsushima, 1978; Yoshida, 1981).

Tanaman padi memiliki pola anakan berganda (anak-beranak). Dari batang utama akan tumbuh anakan primer yang sifatnya heterotropik sampai anakan tersebut memiliki 6 daun dengan 4–5 akar. Dari anakan primer selanjutnya tumbuh anakan sekunder yang kemudian menghasilkan anakan tersier (Gambar 10). Dengan demikian, bila daun ke-13 pada batang utama telah muncul dan bila pola pertumbuhan anakan berjalan sebagaimana mestinya, maka dalam keadaan ini seharusnya terdapat 40 anakan yang terdiri atas: 9 anakan primer, 21 sekunder, dan 10 tersier (Yoshida, 1981). Namun, tidak semua mata tunas akan tumbuh menjadi anakan karena hal itu ditentukan oleh jarak tanam, radiasi, hara mineral, dan budi daya. Tanam pindah (*transplanting*) dapat menghasilkan 10–30 anakan, sedangkan tanam sebar langsung hanya menghasilkan anakan sekitar 2–5. Selain itu, tampaknya anakan tersier tidak begitu diinginkan sebab hanya akan menghasilkan pertumbuhan malai yang terlambat masak dan kalah bersaing dengan anakan primer dan sekunder (Siregar, 1981; Yoshida, 1981).

Anakan padi merupakan indikator pertumbuhan tanaman padi yang sehat atau sakit, meskipun secara genetik varietas tanaman menentukan jumlah anakan. Misalnya, varietas IR64 memiliki jumlah anakan yang lebih banyak dibandingkan dengan Fatmawati secara genetik. Pola pertumbuhan jumlah anakan padi varietas IR64 dan Fatmawati masing-masing sesuai dengan model

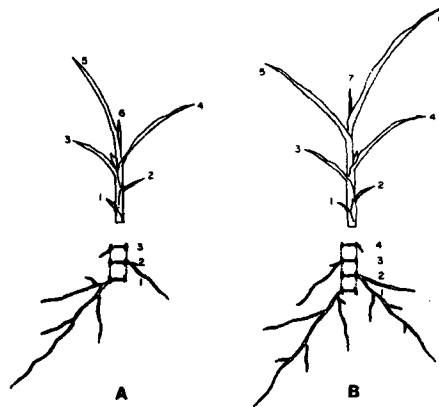
matematik Rasional dan model Logistik (Gambar 11). Fungsi Rasional hubungan antara jumlah anakan padi IR64 dan umur tanaman disajikan sebagai berikut:

$$Y = (0,73 + 0,17 X) / (1 - 0,027X + 0,00038 X^2); R = 0,971^{**}$$

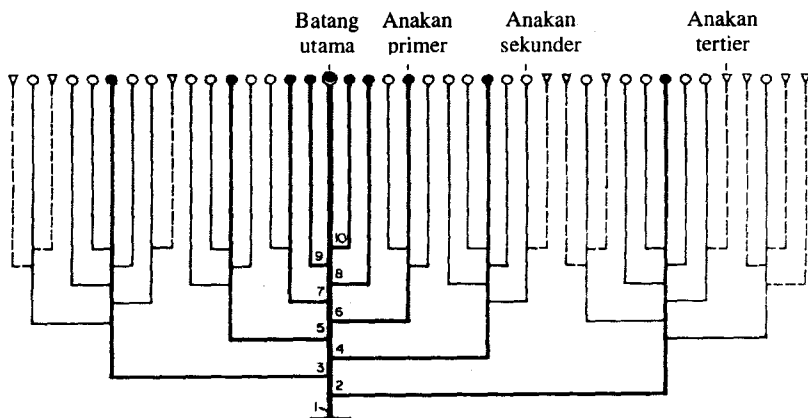
Untuk VUTB Fatmawati model terbaik bagi pola pertumbuhan jumlah anakan adalah *Logistic function* dengan rumus:

$$Y = (8,449) / (1 + 9,22 \cdot \exp(-0,1135 X)); R = 0,943^{**}$$

(Y = jumlah anakan per rumpun; dan X = umur tanaman, hst)



**Gambar 9.** Sinkronisasi pertumbuhan anakan, daun dan akar  
Sumber: Yoshida, 1981

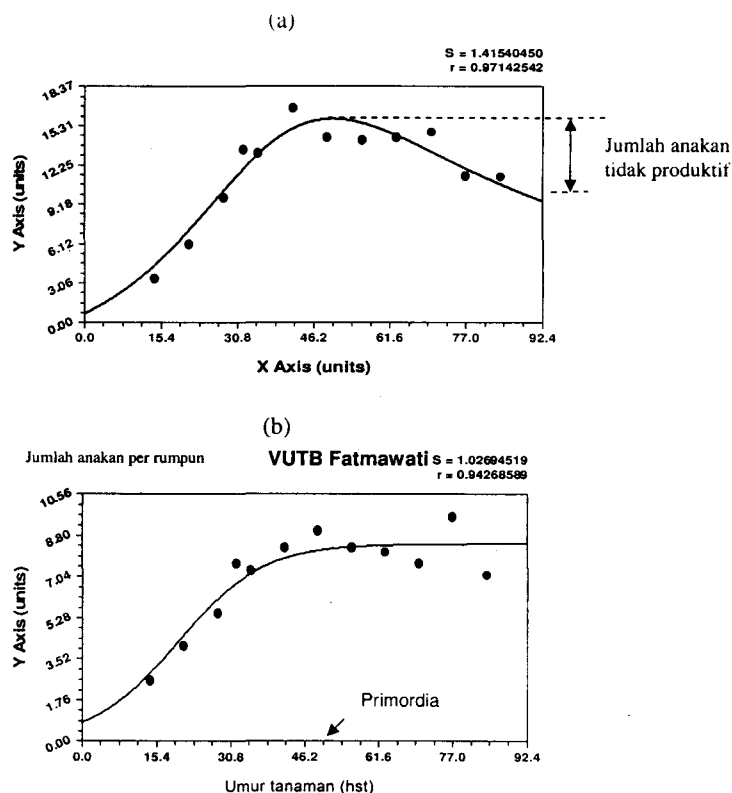


**Gambar 10.** Pola anakan padi  
Sumber: Yoshida, 1981



Perbedaan kedua model tersebut terletak pada adanya penurunan jumlah anakan padi secara drastis saat fase primordia hingga awal pembungaan pada tipe IR64, sedangkan pada Fatmawati tidak nyata adanya pengurangan jumlah anakan tersebut. Makarim dan Suhartatik (2006) menyebutnya sebagai tipe kurang efisien untuk IR64 dan efisien untuk Fatmawati dalam memanfaatkan *sources*.

Kapasitas anakan merupakan salah satu sifat utama yang penting pada varietas-varietas unggul. Yoshida (1981) menyebutkan tanaman bertipe anakan banyak cocok untuk berbagai keragaman jarak tanam, mampu mengompensasi rumpun-rumpun yang mati dan mencapai luas daun dengan cepat. Menurut Murata dan Matsushima (1978), kadar nitrogen tanaman di atas 3,5% sudah cukup untuk merangsang pembentukan anakan, sedangkan pada kadar 2,5% pembentukan anakan akan terhenti, dan bila kadar N tanaman kurang dari 1,5% anakan-anakan akan mati. Selain itu, fosfat juga memengaruhi pembentukan



**Gambar 11.** Pola anakan dua varietas padi (a) IR64 dan (b) VUTB Fatmawati yang berbeda kapasitas anakannya. Muara, MK2005

Sumber: Makarim dkk., 2005

anakan. Bila kadar fosfat batang utama kurang dari 0,25%, maka pembentukan anakan akan terhenti. Sebaliknya, apabila suhu air mencapai 15–16°C pada malam hari dan 31°C pada siang hari, maka akan menghasilkan jumlah anakan terbanyak.

Sistem anakan juga menjadi salah satu peubah potensi hasil. Tsunoda (1964) menguraikan bahwa sistem anakan yang terkumpul lebih produktif dari pada anakan terserak. Yoshida (1981) melaporkan bahwa anakan yang terserak akan lebih produktif pada pemupukan N dosis rendah dan jarak tanam yang lebih lebar. Pada takaran N tinggi dan jarak tanam yang lebih rapat, maka anakan yang lebih tegak akan lebih produktif. Hal ini juga dikaitkan dengan ILD. Varietas-varietas indika yang beranak banyak tampaknya tidak menunjukkan ILD optimal.

## 4.2 Model Matematik Pertumbuhan Tanaman

Analisis pertumbuhan tanaman dapat digunakan sebagai alat untuk mengetahui lebih jauh karakteristik tanaman dalam hubungannya dengan hasil dan besarnya perubahan dengan umur dan lingkungan. Pada umumnya, semua analisis pertumbuhan didasarkan kepada Hukum Blackman (1919), yakni: (1) bobot benih awal; (2) laju pertumbuhan; dan (3) periode tumbuh (jangka waktu). Berdasarkan ilustrasi tersebut, maka pertumbuhan dapat diukur dan dinyatakan dalam berbagai cara dan bentuk (Richards, 1969). Apabila  $W$  menyatakan ukuran tanaman (misalnya tinggi atau bobot) dan menyatakan waktu, maka pertumbuhan dapat dinyatakan sebagai berikut:

1. Laju pertumbuhan absolut atau laju tumbuh (LT). LT menyatakan pertambahan ukuran tanaman (bobot, tinggi, luas daun, dan sebagainya) pada tiap satuan waktu. Laju tumbuh absolut dinyatakan dalam rumus:

$$LT = dW/dt$$

2. Laju tumbuh relatif (LTR). LTR menunjukkan besarnya pertambahan bahan tanaman bagi tiap bahan tanaman yang terdapat pada tiap satuan waktu. Ukuran ini menunjukkan proporsi pertumbuhan terhadap tanaman pada tiap satuan waktu.

$$\begin{aligned} LTR &= \frac{1}{W} \times LT \\ &= \frac{1}{W} \times \frac{dW}{dt} \end{aligned}$$

Contoh: apabila tinggi suatu tanaman adalah 30 cm pada umur 4 minggu setelah tanam, maka:

$$LT = 30/4 \text{ minggu} = 7,5 \text{ cm/minggu}$$

$$LTR = \frac{1}{30 \text{ cm}} \times 7,5 \text{ cm/minggu} = 0,25 \text{ per minggu}$$

3. Laju asimilasi netto (LAN) adalah peningkatan bahan tanaman tiap unit bagian tanaman yang berasimilasi (A) pada tiap satuan waktu. Dalam hal padi, daun dianggap sebagai bagian tanaman yang melakukan asimilasi (fotosintesis). LAN dihitung dengan rumus:

$$LTR = \frac{1}{A} \times \frac{dW}{dt}$$

Dengan LAN akan diketahui besarnya kontribusi tiap satuan tanaman (yang dianggap aktif melakukan fotosintesis) terhadap peningkatan ukuran tanaman.

4. Nisbah Luas Daun (NLD), menunjukkan perbandingan luas daun (A) pada suatu waktu tertentu terhadap besarnya bahan tanaman tersebut (W) yang ditunjukkan dalam rumus berikut:

$$NLD = \frac{A}{W}$$

5. Indeks Luas Daun (ILD), diartikan sebagai luas daun pada tiap satuan luas lahan. Dengan demikian, ILD menyangkut jarak tanam atau populasi tanaman pada tiap satuan luas. Oleh karena itu, penetapan ILD pada percobaan pot tidak tepat dan dapat menyesatkan.
6. Umur Luas Daun (ULD), (*Leaf Area Duration*): Lamanya ILD tertentu bertahan pada suatu penanaman. Walaupun ULD menunjukkan produktivitas daun untuk menghasilkan fotosintat, namun hal itu tidak berarti bahwa ULD menunjukkan laju fotosintesis.
7. Bobot Daun Spesifik (BDS) adalah bobot kering daun per satuan luas daun.
8. Laju Tumbuh Luas Daun (LTLD) adalah laju pertambahan luas daun per satuan waktu. Angka ini menunjukkan cepatnya pertambahan luas daun yang dicapai dalam jangka waktu tertentu.
9. Indeks Hasil (IH) adalah perbandingan antara bobot kering hasil ekonomis terhadap bobot kering biomas (hasil biologik). Angka ini juga menunjukkan efisiensi alokasi bahan kering dalam tanaman.

Antara LTR, LAN, dan NLD terdapat suatu hubungan, yang ditunjukkan dalam rumus berikut:

$$\frac{1}{W} \cdot \frac{dW}{dt} = \frac{1}{A} \cdot \frac{dW}{dt} \times \frac{A}{W}$$

atau  $LTR = LAN \times NLD$

### 4.3 Proses Produksi Bahan Kering

Produksi Bahan Kering Netto (BKN) tanaman merupakan hasil perkalian antara Laju Asimilasi Netto (LAN) dengan Indeks Luas Daun (ILD). Hubungan ini dapat dituliskan dalam rumus:

$$BKN = LAN \times ILD$$

Bertolak dari hubungan tersebut, maka potensi hasil padi dirumuskan dalam hubungan berikut (IRRI, 1977):

$$PH = BKN \times IH$$

dimana PH adalah potensi hasil; BKN adalah produksi Bahan Kering Netto dan IH adalah Indeks Hasil. Proses produksi bahan kering tanaman berlangsung sejak tanaman tumbuh secara ototropik.

Persamaan di atas memberikan petunjuk bahwa hasil dapat ditingkatkan dengan jalan meningkatkan IH atau meningkatkan produksi bahan kering total (Zapata *et al.*, 1983). Namun, peningkatan hasil bahan kering tidak selalu disertai oleh naiknya hasil gabah kering. Indeks hasil rata-rata untuk varietas-varietas unggul adalah 0,5 sedangkan hasil bahan kering adalah 10–20 t/ha. Sebelumnya yang banyak digunakan adalah nisbah gabah dengan jerami, yang besarnya 0,5 untuk varietas-varietas tradisional dan 1,0 untuk varietas-varietas unggul (Yoshida, 1981).

Varietas-varietas berumur panjang tidak selalu menghasilkan gabah yang tinggi, sebab hasil gabah lebih terkait dengan agihan bahan kering atau efisiensi fotosintesis. Oleh karena itu, tingginya produksi biomas belum menggambarkan tingginya hasil gabah. Indikator yang digunakan untuk mengukur agihan biomas adalah indeks panen (*harvest index*).

Sejak inisiasi malai, terjadi penumpukan asimilat yang mencapai puncaknya pada antesis dan setelah itu simpanan tersebut berkurang secara drastis. Sejalan dengan itu, bobot gabah bertambah sejak antesis, sedangkan bobot jeraminya berkurang. Simpanan asimilat selama pra-berbunga oleh Murata dan Matsushima

(1978) disebut sebagai simpanan asimilat temporer, yang pada umumnya terdiri atas pati dan gula, yang tersimpan dalam pelepah daun dan pangkal batang. Cock dan Yoshida (1972) menunjukkan adanya translokasi karbohidrat tersebut ke gabah yang sedang berkembang sebanyak 68%, dirombak dalam respirasi 20%; dan 12% masih tertinggal dalam pelepah daun dan batang.

Yoshida (1981) melaporkan bahwa sumbangan terhadap gabah, yang berasal dari simpanan sementara tersebut berkisar dari 0–90%, namun pada umumnya hanya 20–40%. Murata dan Matsushima (1978) menyebutkan asimilat pra-antesis sebagai penyangga dan kontribusinya terhadap gabah menjadi rendah dalam pemupukan takaran tinggi dan menjadi besar pada varietas berumur panjang dan bila cuaca pada fase postantesis kurang cocok. Beberapa peneliti menunjukkan bahwa peranan asimilat pra-antesis terletak pada peranannya mencegah gabah abortif ketika pertumbuhan karyopsis sedang aktif, yakni 2–3 minggu setelah berbunga (Murata dan Matsushima, 1978).

Kadar nitrogen dalam daun berkorelasi positif dengan laju fotosintesisnya. Pada varietas-varietas berumur dalam, kadar tersebut menurun sebagai akibat penuaan daun pada fase-fase akhir pertumbuhan hingga laju fotosintesisnya rendah pada fase antesis dan pengisian gabah.

#### **4.4 Hubungan Antara Sumber dan Limbung**

Sumber (*source*) diartikan sebagai organ tanaman yang menyuplai asimilat, sedangkan limbung (*sink*) adalah bagian tanaman tempat tujuan translokasi asimilat. Konsep hubungan sumber dengan limbung dipakai untuk menganalisis proses produksi hasil tanaman. Berdasarkan konsep ini, Murata dan Matsushima (1978) membagi padi ke dalam tiga kasus, yakni (1) sumber yang menjadi pembatas; (2) limbung yang menjadi pembatas; dan (3) sumber dan limbung seimbang.

##### **4.4.1 Sumber Terbatas**

Kasus ini ditandai dengan kehampaan yang tinggi (lebih dari 20%) karena kemampuan tanaman untuk menyediakan asimilat sangat terbatas. VUTB Fatmawati sebagai contoh, termasuk varietas yang memiliki *sinks* tinggi, namun *source*-nya kurang memadai (relatif sama dengan varietas sebelumnya/VUB) (Makarim dkk., 2004). Pada kondisi lingkungan tertentu (kurang sinar, drainase buruk, kahat N, dan sebagainya), *sinks* yang banyak tersebut tidak terisi atau tidak dimanfaatkan oleh *sources* sehingga persentase jumlah gabah hampa tinggi (meskipun jumlah gabah isinya juga tinggi, melebihi VUB lainnya) dengan tingkat hasil yang beragam.

Yoshida (1981) melaporkan bahwa hasil padi meningkat sebesar 2,9% apabila konsentrasi CO<sub>2</sub> di atmosfer naik menjadi 900 ppm sebelum berbunga. Cara ini akan meningkatkan jumlah gabah per satuan luas dan juga meningkatkan bobot gabah. Ada perkiraan bahwa kadar CO<sub>2</sub> di atmosfer bumi terus meningkat sebanyak 0,72 ppm/tahun.

#### 4.4.2 Limbung Terbatas

Kasus ini merupakan kasus umum bagi padi di daerah tropik (Yoshida 1981). Persentase gabah isi lebih dari 85% dan terdapat hubungan yang erat antara hasil gabah dengan jumlah gabah tiap satuan luas. Varietas-varietas yang mempunyai hubungan erat antara ILD sewaktu berbunga dengan hasil, juga termasuk dalam golongan ini (Murata dan Matsushima, 1978). Oleh karena itu, dalam usaha pemecahan atau untuk memaksimalkan produktivitas padi tidak bisa dipisahkan antara tanaman dengan lingkungan, tetapi harus dipandanginya sebagai suatu sistem.

Murata dan Matsushima (1978) mencoba menganalisis penyebab rendahnya kapasitas limbung varietas-varietas padi di tropik. Analisisnya menyebutkan bahwa tanaman padi di tropik memiliki pertumbuhan vegetatif yang berlebihan sehingga suplai asimilat berkurang. Di daerah-daerah sub-tropik sebaliknya, anakan dapat dinaikkan hingga jumlah yang tinggi tanpa mengganggu suplai asimilat bagi gabah.

Tipe tumbuh, di mana perpanjangan batang bersamaan waktunya dengan perkembangan malai mengakibatkan terjadinya kompetisi akan asimilat antara kedua organ tersebut (Navasero dan Tanaka, 1966). Kompetisi ini kemudian dibuktikan oleh Wada (1969) bahwa perpanjangan batang pada waktu itu mengonsumsi 60% asimilat netto yang dihasilkan, sedangkan sisanya dibagi bersama oleh daun-daun yang masih tumbuh dan malai yang sedang berkembang.

Pada stadia bunting, saat terjadi kompetisi akan asimilat antara malai dengan batang serta daun bendera. Untuk mengurangi kompetisi tersebut Murata dan Matsushima (1978) menganjurkan pemakaian varietas yang daun benderanya kecil karena daun bendera yang demikian kurang kompetitif terhadap malai.

Berdasarkan penemuan-penemuan sebelumnya, maka Murata dan Matsushima (1978) mengajukan beberapa tindakan-tindakan agronomik untuk mengatasi rendahnya kapasitas limbung. Cara-cara tersebut adalah meningkatkan pemupukan dasar; jarak tanam yang rapat, suhu yang rendah, dan radiasi tinggi pada waktu anakan; pemupukan susulan antara fase pemisahan sel-sel gabah dengan fase pembelahan reduktif, meningkatkan ukuran sekam dengan menampilkannya terhadap radiasi tinggi pada fase pembelahan reduktif.

#### 4.4.3 Sumber dan Limbung Setimbang

Dalam kasus ini, bukan saja kapasitas hasil yang menjadi pembatas setelah berbunga, tetapi juga suplai asimilat. Keadaan ini menunjukkan adanya semacam umpan-balik dari limbung terhadap sumber. Dengan perkataan lain, bila kapasitas limbung naik, maka aktivitas fotosintesis akan naik atau sebaliknya.

Kasus di mana  $V = C$ , di mana  $V$  adalah kapasitas wadah untuk menampung apa yang akan diisikan ( $C$ ) sehingga terdapat suatu keselarasan antara sumber dan limbung ( $V = C$ ). Dalam keadaan ini sehingga persentase gabah isi yang tinggi masih dapat diperoleh, walaupun jumlah gabah tinggi. Dalam kasus lain, jumlah gabah yang tinggi selalu diikuti oleh turunnya persentase gabah isi.

### 5. HUBUNGAN ANTARA ASPEK MORFOLOGI DAN FISILOGI

Yoshida (1981) menguraikan berbagai sifat-sifat morfologik tanaman padi yang dikaitkan dengan fotosintesis dan hasil (Tabel 2).

#### 5.1 Tinggi Tanaman

Tanaman yang tinggi dengan batang yang lemah akan rebah pada masa-masa permulaan tumbuh dan menjadi rebah sama sekali pada pemupukan  $N$  dosis tinggi. Tanaman rebah menyebabkan pembuluh-pembuluh xylem dan floem menjadi rusak sehingga menghambat pengangkutan hara mineral dan fotosintat. Selain itu, susunan daun menjadi tidak beraturan dan saling menaungi sehingga akhirnya banyak menghasilkan gabah hampa. Tingginya hasil pada padi varietas unggul baru terutama disebabkan oleh ketahanannya terhadap kerebahan (Yoshida, 1981).

#### 5.2 Malai

Malai tanaman padi menopang gabah yang merupakan *sink* yang perlu dipenuhi dengan materi/fotosintat dari berbagai sumber (*source*) dalam tanaman. Menurut Yoshida (1981) malai mencapai hasil tinggi ketika jumlah gabah per  $m^2$  banyak, persentase gabah isi tinggi, dan bobot 1.000 butir gabah isi tinggi. Untuk mencapai jumlah gabah yang banyak, dapat dilakukan: (1) pengaturan jarak tanam optimal (spesifik varietas dan kesuburan tanah); (2) pemberian pupuk  $N$  dan/atau bahan organik yang optimal (sesuai kondisi lahan).

Namun, semakin banyak jumlah malai per  $m^2$  dengan cara meningkatkan populasi tanaman, maka semakin pendek malai yang dihasilkan. Selanjutnya, semakin panjang malai rata-rata pertanaman padi, semakin banyak jumlah gabah yang dihasilkan.

**Tabel 2.** Sifat-sifat morfologik yang dikaitkan dengan potensi hasil padi.

| Bagian tanaman | Bentuk daun yang diinginkan             | Pengaruhnya terhadap fotosintesis dan hasil                                                                                                                                                                                                                        |
|----------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Daun           | Tebal                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Dikaitkan dengan sifat daun yang tumbuh tegak</li> <li>- Laju fotosintesis tiap satuan luas daun tinggi.</li> </ul>                                                                                                       |
|                | Pendek dan kecil<br>Tegak               | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Lebih tegak. Distribusi daun merata pada tajuk.</li> <li>- Permukaan yang kena sinar matahari lebih luas sehingga distribusi penyinaran pada daun lebih merata.</li> </ul>                                                |
| Batanganakan   | Pendek dan kekar                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mencegah kerebahan</li> </ul>                                                                                                                                                                                             |
| Anakan         | Kompak dan tegak<br>Anakan banyak       | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Penetrasi sinar matahari lebih merata</li> <li>- Cocok untuk berbagai jarak tanam</li> <li>- Mampu mengkompensasi rumpun-rumpun yang mati.</li> <li>- Indeks luas daun yang besar dicapai dalam waktu singkat.</li> </ul> |
| Malai          | Sterilitas rendah<br>(gabah isi tinggi) | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Memenuhi syarat untuk pemupukan dosis tinggi.</li> </ul>                                                                                                                                                                  |
|                | Nisbah gabah/jerami tinggi              | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Hasil gabah tinggi.</li> </ul>                                                                                                                                                                                            |

Sumber: Yoshida (1981)

### 5.3 Tingkat Hasil Tanaman Padi

Pada prinsipnya tanaman padi memiliki potensi hasil genetik, yaitu hasil tertinggi yang merupakan batas kemampuan suatu varietas padi dalam memproduksi gabah (produktivitas), yang dapat dicapai hanya pada kondisi iklim “terbaik” dan tanpa adanya faktor pembatas lingkungan tumbuh tanaman apa pun. Dengan pengertian ini, maka akan sangat sulit untuk meraih potensi hasil genetik karena kondisi iklim terbaik sangat sulit dijumpai dalam ruang dan waktu. Namun, besarnya potensi hasil genetik ini dapat diperkirakan/dihitung dengan menggunakan model simulasi yang menggunakan parameter-parameter fisiologis tanaman dan iklim. Dengan cara ini perbedaan potensi genetik varietas dapat dihitung.

Pada suatu kondisi iklim (tempat dan musim) tertentu, suatu varietas dengan genetik tertentu memiliki potensi hasil tertentu pula, yang disebut potensi hasil  $G \times E$  atau sering diistilahkan potensi hasil saja (Kropff *et al.*, 1994). Potensi hasil



adalah hasil maksimal atau batas kemampuan varietas tanaman untuk berproduksi pada kondisi iklim (radiasi surya dan suhu udara maksimum dan minimum) tertentu pada suatu lokasi dengan tanpa adanya kendala seperti kekurangan air, hara, keracunan besi, Al, Mn, garam, asam-asam organik, sulfida, kondisi sangat reduktif, serangan hama, penyakit, dan sebagainya.

Hasil padi tertinggi yang pernah dicapai dilaporkan Yoshida (1981) untuk daerah tropik 10–11 t/ha, sedangkan di daerah subtropik, seperti di Cina, Australia, dan California (USA) 13–15 t/ha. Berdasarkan model simulasi Macros L1D dan Padi. CSM dengan menggunakan data iklim (radiasi, suhu udara maksimum dan minimum) dari berbagai lokasi di Indonesia, potensi hasil padi beragam antara 7,5 dan 11,0 ton gabah kering giling (GKG) per hektare bergantung pada waktu tanam (Makarim dkk., 2000) dan di IRRI Filipina 8 t/ha (Reyes dan Penning de Vries, 1989). Lebih tingginya potensi hasil padi di daerah subtropik dibandingkan di daerah tropik disebabkan oleh lebih rendahnya suhu udara di daerah subtropik sehingga fase tumbuhnya terutama fase pengisian gabah lebih lama. Varietas-varietas padi yang berumur panjang, sedang maupun pendek (genjah) di daerah tropik memiliki fase pengisian gabah yang hampir sama (Peng *et al.*, 1994) dan lebih singkat dibandingkan fase pengisian gabah di daerah subtropis karena suhu udara yang lebih dingin di daerah subtropis.

Produktivitas suatu penanaman padi merupakan hasil akhir dari pengaruh interaksi antara faktor genetik varietas tanaman dengan lingkungan dan pengelolaan melalui suatu proses fisiologik dalam bentuk pertumbuhan tanaman. Penampilan tanaman pada suatu wilayah merupakan responss dari sifat tanaman terhadap lingkungannya dan juga pengelolaannya.

Permasalahan dalam peningkatan hasil padi sebagian besar akibat tidak tepatnya penerapan komponen teknologi terhadap varietas padi yang ditanam pada kondisi lingkungan tertentu. Untuk pencapaian hasil maksimal diperlukan ketepatan pemilihan komponen teknologi.

#### **5.4 Hubungan Sifat Morfologik dengan Umur Fisiologik**

Sebagaimana telah dikemukakan sebelumnya, banyak komponen hasil yang sudah ditetapkan sebelum tanaman padi berbunga. Dengan demikian, tindakan-tindakan agronomik dan keadaan lingkungan pada fase-fase sebelum berbunga sangat berpengaruh terhadap hasil. Untuk itu diperlukan suatu pengamatan visual terhadap tanaman itu sendiri. Cara ini haruslah praktis tanpa melakukan penelitian-penelitian mikroskopik atau anatomik. Oleh karena itu, Matsushima (1970) telah mengajukan berbagai metode penetapan stadia perkembangan tanaman dalam hubungannya dengan pertumbuhan malai.

### 5.4.1 Indeks Jumlah Daun

Umur fisiologik tanaman padi dapat ditentukan berdasarkan jumlah daun yang telah tumbuh secara penuh karena jumlah daun bersifat tetap untuk suatu varietas. Indeks jumlah daun (IJD) dihitung berdasarkan rumus sebagai berikut:

$$\text{Indeks Jumlah Daun} = \frac{\text{Jumlah daun yang telah jadi pada waktu tertentu}}{\text{Jumlah daun yang akan terjadi}} \times 100$$

Apabila suatu varietas berdaun 16 telah menghasilkan 14 daun penuh, maka IJD adalah  $(14: 16) \times 100 = 87,5$ . Selanjutnya, IJD diekstrapolasikan dengan tabel perkembangan malai (Tabel 3). Tabel ini hanya berlaku bagi varietas berdaun 16. Maka IJD sebesar 87,5 adalah sekitar stadia pertengahan pemisahan sel-sel primordia gabah (Tabel 3).

### 5.4.2 Panjang Primordia Malai

Primordia malai baru dapat dilihat dengan mata setelah primordia malai mencapai stadia 2b, yang mencapai panjang 0,5–0,9 mm. Pengamatan dilakukan dengan mengambil contoh anakan terbesar dan melepaskan pelepah daunnya satu persatu sampai primordia malai tampak berupa lapisan putih. Beda antara inisiasi primordia malai dengan malai agronomik sekitar 7–10 hari.

### 5.4.3 Jarak antara Telinga Daun

Daun teratas sebelum daun bendera disebut daun penultimet. Apabila telinga daun bendera belum tampak, maka jarak telinga daun penultimet dengan telinga daun bendera dinyatakan (-). Bila kedua telinga daun tersebut sudah berada pada ketinggian yang sama, maka jaraknya (0) dan kalau telinga daun bendera sudah di atas telinga daun penultimet, jarak tersebut dinyatakan (+).

Dengan cara ini dapat dinyatakan bahwa stadia aktif pembelahan reproduktif sel-sel induk tepung sari mulai dengan -3 cm sampai +10 cm. Stadia pertumbuhan inisiasi malai berdasarkan praktik agronomik adalah pada jarak 0, yaitu bila telinga kedua daun terakhir berada pada ketinggian yang sama.

Menurut Murata dan Matsushima (1978), fase pertumbuhan pembelahan reduktif sel-sel induk tepung sari adalah fase yang paling kritis. Oleh karena itu tindakan agronomik harus tepat mulai ketika telinga daun bendera berada 3 cm di bawah telinga daun penultimet sampai dengan saat telinga daun bendera tersebut berada 10 cm di atas telinga daun penultimet.

## 6. STRATEGI KE DEPAN UNTUK PERBAIKAN TANAMAN

### 6.1 Perbaikan Bentuk dan Kualitas Tajuk Tanaman

Keterbatasan potensi hasil padi semakin terasa dengan sulitnya meningkatkan hasil padi aktual, meskipun berbagai cara pengelolaan tanaman-lingkungan telah dilakukan. Varietas hasil tinggi dipilih berdasarkan bentuk dan kualitas tajuk, yang erat kaitannya dengan efektivitas menangkap radiasi surya untuk fotosintesis.

Bentuk tajuk dinilai menggunakan parameter statistik, *skewness*, yaitu kesimetrisan distribusi luas daun. Semakin kecil nilai *skewness* semakin luas bagian daun tanaman di bagian atas dan semakin berat biomas yang dihasilkan akibat lebih efektifnya tajuk menyerap radiasi surya (Sutoro dan Makarim, 1997). Cara ini dapat digunakan dalam program skrining varietas hasil tinggi.

Varietas-varietas padi yang ada sekarang memiliki kualitas tajuk tanaman yang masih rendah, ditunjukkan dengan nilai faktor konversi radiasi (FKR) antara 2,6 – 2,9 g/MJ. FKR, yaitu bobot biomas kering bagian atas tanaman per unit intersepsi PAR. Nilai tersebut perlu ditingkatkan lagi menjadi 3,3 g/MJ agar terjadi kenaikan hasil padi yang nyata, antara lain melalui peningkatan konsentrasi N daun selama fase pengisian gabah.

### 6.2 Perbaikan Pola Partisi Fotosintat dalam Tanaman

Hasil fotosintesis yang telah digunakan sebagian dalam respirasi akan dipartisi ke bagian-bagian tanaman utama, seperti batang, daun, malai, dan akar. Varietas yang efisien mempunyai ciri partisi lebih banyak ke bagian tanaman yang paling bermanfaat pada tiap fase tumbuhnya. Misalnya, pada fase vegetatif, partisi lebih banyak ke daun yang sedang aktif berfotosintesis, dan pada fase generatif banyak ke malai untuk pengisian gabah. Varietas IR64 memiliki proporsi bobot daun pada fase vegetatif 0,46, sedangkan VUTB sedikit lebih tinggi, yaitu 0,47–0,50. Pada fase matang fisiologis proporsi bobot ke malai untuk varietas IR64 0,57, sedangkan VUTB beragam antara 0,53–0,60 (Makarim dan Suhartatik, 2006). Sayangnya, pada VUTB dari bobot malai yang tinggi hanya 50% berupa gabah isi, selebihnya berupa tangkai malai dan gabah hampa, sedangkan pada IR64 80% dari bobot malai berupa gabah isi (Makarim dkk., 2005). Dengan demikian, perbaikan pola partisi seperti digambarkan di atas tersebut akan dapat meningkatkan produktivitas tanaman.

### 6.3 Perbaikan hubungan antara *sinks* dan *sources*

Selanjutnya, hubungan *sinks* dan *sources* dalam tanaman menentukan potensi hasil tinggi. VUTB Fatmawati sebagai contoh, termasuk varietas yang memiliki *sinks* tinggi, namun *source* yang kurang memadai (relatif sama dengan varietas sebelumnya/VUB) (Makarim dkk., 2004). Pada kondisi lingkungan tertentu (kurang sinar, drainase buruk, kahat N, dan sebagainya), *sinks* yang banyak tersebut tidak terisi atau tidak termanfaatkan oleh *sources* sehingga persentase (%) jumlah gabah hampa tinggi (meskipun jumlah gabah isinya juga tinggi, melebihi VUB lainnya) dengan tingkat hasil yang beragam. Sebaliknya, varietas-varietas sebelumnya dengan jumlah *sink* terbatas (jumlah total gabah sedikit), *source* yang sama dengan VUTB di atas telah memenuhi hampir seluruh gabah yang terbentuk sehingga persentase (%) gabah isi mendekati 100%, namun tingkat hasilnya tetap tidak tinggi. Oleh karena itu, dalam usaha pemecahan atau dalam memaksimalkan produktivitas padi tidak bisa dipisahkan antara tanaman dengan lingkungan, tetapi harus dipandang sebagai suatu sistem.

### 6.4 Padi siklus C4

Hasil padi pintasan siklus C3 melalui pemuliaan untuk daerah tropik maksimal dapat mencapai 12 ton/ha atau nilai *Radiation Use Efficiency* (RUE) 2,6 kg bahan kering per MJ PAR. Hal ini tampaknya belum dapat mencukupi kebutuhan beras global pada tahun 2050. Terobosan baru diperlukan untuk meningkatkan RUE mendekati 3,3 kg bahan kering per MJ PAR seperti pada jagung (pintasan C4). Untuk itu, diperlukan padi yang memiliki pintasan fotosintesis C4 atau disebut padi siklus C4 (Padi C4) (Sheehy *et al.*, 2001).

Teknologi transgenesis dimanfaatkan untuk memindahkan sifat-sifat tanaman C4 ke padi yang merupakan tanaman C3 guna meningkatkan produksi hingga 30% (Inez, 2005). Gen *phosphoenolpyruvate carboxylase* (PEPC) dari jagung diintroduksi pada tanaman padi dan dapat meningkatkan laju fotosintesis (Ku *et al.*, 1999).

Ada dua skenario yang dapat dikemukakan, yaitu :

Skenario 1: Menggunakan tipe padi liar C4 atau antara C3–C4.

Skenario 2: Padi C4 dari rekayasa genetika. Protokol untuk memindahkan alel transgenik dari galur donor ke berbagai varietas populer telah tersedia.

Untuk mencapai potensi sepenuhnya dari padi C4 memerlukan bahan (*traits*) dari varietas-varietas elite lainnya. Misalnya: galur-galur tahan rebah hasil persilangan berlatar belakang indika dengan plasma nutfah japonika tropik. Atau,

galur yang memiliki ukuran sink yang lebih tinggi seperti malai yang panjang dan lebat (jumlah gabah per malai tinggi). Juga perlu diingat bahwa padi C4 perlu diprioritaskan untuk ekosistem yang berbeda seperti untuk sawah irigasi, tadah hujan, lahan kering serta pasang surut dan sebagainya guna memaksimalkan potensi dari padi C4.

## **6.5 Peningkatan Potensi Hasil**

### **6.5.1 Padi Tipe Ideal**

Pada awal perkembangan varietas padi, varietas berpotensi hasil tinggi dan sangat respons terhadap pemberian pupuk N memiliki ciri berbatang pendek dan kuat; daun tegak, sempit, tebal, dan berwarna hijau tua. Menurut Donald (1968), Tanaman Tipe Ideal didefinisikan sebagai kombinasi traits spesifik yang sangat sesuai untuk fotosintesis, pertumbuhan dan hasil gabah yang ideal.

Pada tahun 1989, IRRI telah merumuskan prototipe baru tanaman padi, yang dikenal dengan "*New Plant Type*" atau padi tipe baru (PTB). Beberapa karakteristik tanaman padi tipe baru digambarkan sebagai berikut (Pheng *et al.*, 1994; Khush, 2000; 2002): (1) kapasitas memproduksi anakan 3–4 malai per tanaman untuk pertanaman sebar langsung; (2) semua anakan produktif; (3) jumlah gabah 200–250 bulir per malai; (4) tinggi tanaman 90–100 cm; (5) batang kuat/kokoh; (6) sistem perakaran intensif dan dalam; (7) tahan terhadap berbagai hama dan penyakit; (8) umur tanaman 110–130 hari; (9) indeks panen 0,6; dan (10) potensi hasil tinggi (13–15 t/ha GKG).

Hasil padi tipe baru diharapkan dapat mencapai 30–50% lebih tinggi dari varietas unggul baru. Namun, IRRI belum mendapatkan galur berpotensi hasil seperti yang diharapkan (13–15 t/ha GKG) karena persentase gabah hampa relatif tinggi dan produktivitas biomas relatif rendah (Abdullah, 2002).

### **6.5.2 *Super High Yielding Variety***

Sampai saat ini hanya ada dua cara yang efektif untuk peningkatan potensi melalui pemuliaan tanaman, yaitu perbaikan morfologi tanaman dan menggunakan heterosis tanaman. Berdasarkan hasil penelitian (Yuan, 2003), kombinasi P64S/E32 mencapai hasil 17,1 t/ha, disebut sebagai *Super High Yielding Variety*, mempunyai karakteristik morfologi sebagai berikut: (1) kanopi daun tinggi dan tegak, dengan rincian (a) tiga helaian daun teratas harus panjang, tegak, sempit, daun berbentuk "V", dan tebal, (b) luas daunnya tinggi, dapat menerima cahaya pada kedua sisi permukaan daun dan daun-daun tersebut tidak saling menaungi sehingga efisien dalam pemanfaatan cahaya matahari,

(c) daun yang tebal mempunyai fungsi fotosintesis yang tinggi dan daun tersebut tidak mudah senesen. Bentuk morfologi daun tersebut di atas dapat menghasilkan asimilat yang besar, sangat penting untuk padi super; (2) posisi malai di bawah; selama stadia pemasakan, ujung malai hanya 60–70 cm di atas permukaan tanah sehingga titik berat tanaman rendah, dan tanaman menjadi sangat tahan terhadap kerebahan; (3) ukuran malai besar, dengan rincian (a) bobot gabah per malai sekitar 5 gram, dan (b) jumlah malai 300/meter persegi.

## **6.6 Teknologi Perbaikan Tanaman Padi**

Sampai sekarang, semua teknologi perbaikan tanaman untuk memperbaiki hasil dapat digolongkan menjadi 5, yakni (1) pemuliaan dan budi daya; (2) teknik radiasi; (3) kultur sel dan jaringan; (4) bio-regulation; dan (5) rekayasa genetik.

### **6.6.1 Pemuliaan dan Budi daya**

Pemuliaan dan teknik radiasi serta rekayasa genetik pada prinsipnya adalah mendapatkan susunan gen yang baru, yang dalam budi dayanya menunjukkan keunggulan-keunggulan tertentu dibanding dengan induknya. Kultur sel/jaringan dan bioregulation, umumnya memperbaiki penampilan tanaman tanpa mengubah susunan genetiknya. Namun, bioregulation diarahkan kepada tanaman yang telah ada (tumbuh) dengan mengatur pertumbuhan dan perkembangannya sedemikian rupa sehingga tanaman lebih produktif dalam waktu yang cepat. Untuk tanaman padi, teknik yang telah dijalankan secara luas adalah pemuliaan dan budi daya.

### **6.6.2 Teknik Radiasi**

Teknik radiasi sudah menghasilkan beberapa varietas padi, misalnya Atomita I, Atomita II, Mayang, Winongo, Diah Suci, dan Cilosari yang telah dilepas sebagai varietas padi unggul.

### **6.6.3 Kultur Sel dan Jaringan**

Kultur sel dan jaringan bagi tanaman padi masih belum dapat menyingkirkan secara tuntas berbagai hambatan teknis. Di IRRI cara ini telah dirintis dengan kultur tepung sari dan janin padi (Evans dan von Caemmerer, 2000; Zapata *et al.*, 1983).

#### 6.6.4 *Bioregulation*

*Bioregulation* baru dimulai secara terbatas dengan menggunakan zat pengatur tumbuh domestik maupun eksotik. Hasil-hasil percobaan menunjukkan bahwa pengaruh penggunaan zat tumbuh tersebut belum konsisten. Disebut *bioregulation* karena cara yang ditempuh adalah dengan mengendalikan pertumbuhan dan perkembangan tanaman dengan *bio-regulant*. Bahan ini dapat saja berupa bahan kimia yang terdapat secara alamiah maupun yang dibuat secara sintetik. Cara ini bertitik tolak dari kenyataan bahwa tanaman, secara *endogenous* dikendalikan dan dikoordinasikan oleh hormon, yakni senyawa organik yang disintesis oleh tanaman itu sendiri (Leopold dan Kriedemann, 1975).

Dalam sejarahnya, zat tumbuh (zat pengatur tumbuh) lebih banyak digunakan pada tanaman-tanaman hortikultura atau pada tanaman-tanaman bernilai ekonomi tinggi. Namun, belakangan pemakaiannya menyebar ke tanaman pangan, bahkan sampai ke tanaman pakan ternak maupun rumput penutup lapang. Keberhasilan penggunaan zat pengatur tumbuh dalam memperbaiki hasil tanaman terletak pada kemampuan zat tersebut menciptakan suatu kondisi yang lebih produktif dengan mengeliminasi hambatan-hambatan yang melekat pada tanaman itu.

Untuk tujuan tersebut setiap tanaman memiliki karakter dan mekanisme tersendiri. Oleh karena itu, penggunaan zat pengatur tumbuh dalam perbaikan tanaman dan hasil harus bersifat spesifik.

#### 6.6.5 Rekayasa Genetik

Bioteknologi sebagai alternatif teknologi di masa mendatang telah dijadikan prioritas penelitian di banyak negara. Era bioteknologi ditandai oleh perkembangan kultur jaringan dan biologi molekuler yang mendukung pelaksanaan kloning gen. Hal ini menuntut dikembangkannya kultur haploid, embriogenesis, dan regenerasi dari protoplas.

Bioteknologi tanaman padi yang berkembang saat ini adalah aplikasi teknologi transgenik, markah molekuler, dan pengembangan studi genom hingga proteomik (Inez, 2005). Hasil entropresi sifat ketahanan padi terhadap bakteri hawar daun (BLB) ras Indonesia dengan teknik markah adalah padi varietas Code dan Angke.

### 7. PENUTUP

Dalam pandangan morfologi dan fisiologi untuk mendukung penanaman padi hasil tinggi masa depan, diperlukan perbaikan faktor internal tanaman sebagai berikut: (1) perbaikan bentuk dan kualitas tajuk tanaman sehingga lebih

efektif dalam menangkap radiasi surya; (2) peningkatan pemanfaatan radiasi surya yang sudah terserap tanaman menjadi energi tumbuh, produksi biomas, dan hasil gabah melalui berbagai proses di dalam tanaman (*radiation conversion factor*, RCF); (3) perbaikan sifat partisi, remobilisasi dan translokasi karbohidrat dan hara ke bagian-bagian penting tanaman selama pertumbuhannya; (4) penguatan batang tanaman padi sehingga mampu menopang hasil tinggi; (5) perbaikan aktivitas perakaran tanaman sehingga mampu menyuplai hara dan air hingga fase pemasakan gabah; dan (6) perbaikan ukuran sinks (malai) tanaman dan memperpanjang waktu pengisian gabah. Dengan perbaikan berbagai sifat tersebut, tanaman padi akan mampu mencapai hasil tinggi (>10 ton GKG/ha).

Perbaikan-perbaikan faktor internal tanaman padi untuk masa mendatang perlu diupayakan dari sekarang. Varietas-varietas padi hasil tinggi yang efisien dalam penggunaan sumber, yang dengan cara budi daya dapat menaikkan hasil hingga 50% pada tahun 2050 (Mitchell dan Sheehy, 2000). Faktor konversi radiasi surya (FKR), yaitu bobot biomas kering bagian atas tanaman per unit intersepsi PAR perlu ditingkatkan. Varietas-varietas padi yang ada sekarang memiliki nilai FKR antara 2,6–2,9 g/MJ. Nilai tersebut perlu ditingkatkan lagi menjadi 3,3 g/MJ agar terjadi kenaikan hasil padi yang nyata.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, B. 2002. "Perkembangan Penelitian Padi Tipe Baru". *Berita Puslitbangtan*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan. No. 25: 1–4.
- Anonim. 1970. *Rice Production Manual*. Revised Edition. Los Banos: UPCA – IRRI, Philippines. 382 p.
- Barker, R. 1972. "The Economic Consequences of the Green Revolution in Asia". In: *Rice, science, and man*. Los Banos. Phillipines.
- Bidwell, R.G.S. 1974. *Plant Physiology*. New York: Macmillan Publishing Co., Inc., 643 p.
- Blackman, V.H. 1919. "The Compound Interest Law and Plant Growth". *Ann. Bot.* 33: 353.
- Chang T.T. 1976. "The Origin, Evolution, Cultivation, Dissemination, and Diversification of Asian and African Rices". *Euphytica*, 25: 425–441.
- Chang, Te-Tzu and E.A. Bardenas. 1976. "The Morphology and Varietal Characteristics of the Rice Plant". *Technical Bulletin* 4, The International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines.
- Cock, J.H. and S. Yoshida. 1972. "Accumulation of <sup>14</sup>C- Labeled Carbohydrate Before Flowering and the Subsequent Redistribution and Respiration in the Rice Plant". *Proc. Crop Sci. Soc. Japan* 41: 226–234.



- De Datta, S.K. 1981. *Principles and Practices of Rice Production*. A Wiley-Interscience Publication. New York: John Wiley & Sons. 618 p.
- Donald, C.M. 1968. "The Breeding of Crop Ideotypes". *Euphytica* 17: 385–403.
- Esau, K. 1977. *Anatomy of Seed Plants*. New York: John Wiley and Sons. 550 p.
- Evans, J.R. and S. von Caemmerer. 2000. "Would C<sub>4</sub> Rice Produce more Biomass than C<sub>3</sub> Rice?". In J.E. Sheehy, *et al.* (Ed). *Redesigning Rice Photosynthesis to Increase Yield*. International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines. p. 53–71.
- Gould, F.W. 1968. *Grass Systematics*. McGraw-Hill Book. New York. 382 p.
- Hitchcock, A.S. 1971. *Manual of the Grasses of the United States*. 2<sup>nd</sup> ed. Agnes Chase (Ed). Vol. 1, New York: Dover Publications.
- Howell, R.W. 1977. "Crop Physiology to the Year 2000". In: Marlowe D. Thorne (Ed.) *Agronomist and Food: Contributions and Challenges*. ASA Special Publications Number 30. ASA Madison, Wisconsin.
- Inez, H. Slamet-Loedin. 2005. "Bioteknologi Padi Menunjang Kemandirian Pangan". Dalam B. Suprihatno, dkk. (Ed.) *Kebijakan Perberasan dan Inovasi Teknologi Padi*. Buku satu. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan, Badan Litbang Pertanian, Bogor. p. 201–210.
- International Rice Research Institute. 1977. "Annual Report for 1976". Los Banos Philippines.
- International Rice Research Institute. 2007. "Rice KnowledgeBank". [www.knowledgebank.irri.org/morph/welcome\\_to\\_Morphology\\_of\\_the\\_Rice\\_Plant.htm](http://www.knowledgebank.irri.org/morph/welcome_to_Morphology_of_the_Rice_Plant.htm).
- Ishizuka, Y. 1969. Engineering for Higher Yields. In: Eastin J.D., *et al.* (Ed.), *Physiological Aspect of Crop Yield*. ASA-CSSA. Madison, Wisconsin, USA.
- Jennings, P.R. *et al.* 1979. "Rice improvement". IRRI, Los Banos, Philippines.
- Kropff, M.J. *et al.* 1994. "Quantitative Understanding of Yield Potential". In Cassman K.G. (Ed.). *Breaking the Yield Barrier. Proc. Workshop on Rice Yield Potential in Favorable Environments*. p. 21–38.
- Khush, G.S. 2000. "Strategies for Increasing the Yield Potential of Rice". In: Sheehy J.E. *et al.* (Ed.). *Redesigning Rice Photosynthesis to Increase Yield*. International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines. p. 207–212.
- Khush, G. S. 2002. "Food security by design: Improving Rice Plant in Partnership with NARS". Dalam Suprihatno, B. dkk. (Ed.). *Kebijakan Perberasan dan Inovasi Teknologi Padi*. Buku satu. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan. Badan Litbang Pertanian. Bogor. p. 67–80.

- Ku, S.B. *et al.* 1999. "High Level Expression of Maize Phosphoenolpyruvate Carboxylase in Transgenic Rice Plant". *Nature Biotechnology* 17: 76–80.
- Leopold, A.C. and P.E. Kriedemann. 1975. *Plant GROWTH and DEVELOPMENT*. New York: Mc Graw-Hill. 545 p.
- Loomis, R. S. and W. A. Williams. 1969. "Productivity and the Morphology of Crop Stands; Patterns with Leaves". In *Physiological Aspects of Crop Yield*. ASA-CSSA, Madison, Wisconsin. P. 1–74.
- Lu, J.J. and T.T. Chang. 1980. "Rice in Its Temporal and Spatial Perspectives". In Luh, B.S. (Ed.) *Rice: Production and Utilization*. AVI Publishing Company. Westport, Connection. p. 1–74.
- Makarim, A.K. dkk 2004. *Padi Tipe Baru: Budi Daya dengan Pendekatan Pengelolaan Tanaman Terpadu*. Balai Penelitian Tanaman Padi. ISBN 979-540-021-5. 48 halaman.
- Makarim, A.K. dkk. 2000. "Pengujian Sistem *Prescription Farming* pada Pola IP Padi 300". *Jurnal Penelitian Pertanian Tanaman Pangan* ISSN 0216-9959. Vol 19(3): 13–24, Puslitbangtan, Badan Litbang Pertanian.
- Makarim, A.K. and E. Suhartatik. 2006. "Partial Efficiency Concept in New Rice Plant Type as Indicated by N Uptake". In Sumarno dkk. (Ed.) *Rice Industry, Culture, and Environment*. Book 1 p. 185–191. Indonesian Center for Rice Research.
- Makarim, A.K. dkk. 2005. "Optimalisasi Komponen Hasil Varietas Padi". Laporan Akhir. Balai Besar Penelitian Tanaman Padi. 80 halaman.
- Matsushima, S. 1970. *Crop Science in Rice: Theory of yield determination an its application*. Fuji Publishing.
- Mitchell, P.L. and J.E. Sheely. 2000. Performance of Potential C4 Rice: Overview from Quantum Yield to Grain Yield. In Sheehy, J.E. *et al.* (Ed.). *Redesigning Rice Photosynthesis to Increase Yield*. International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines. p. 145 – 163.
- Moore, T.C. 1979. *Biochemistry and Physiology of Plant Hormones*. New York: Springer- verlag, 274 p.
- Murata, Y. 1969. Physiological Responses to Nitrogen in Plants. In *Physiological Aspect of Crop Yield*. ASA-CSSA Madison, Wisconsin, USA, p. 235–259.
- Murata, Y. and A. Osada. 1958. "Studies on The Photosynthesis in Rice Plant". *Proc. Crop Sci. Soc. Japan*. 27: 12–24.
- Murata, Y. and S. Matsushima. 1978. "Rice". In Evans, L.T. (Ed.). *Crop Physiology*. Cambridge: University Press. Cambridge. p. 73–99.
- Navasero, S.A. and A. Tanaka. 1966. "Low light induced death of lower leaves of rice and its effect on grain yield". *Plant and Soil* 14: 17–31.

- Peng, S. *et al.* 1994. Quantitative Understanding of Yield Potential. In Cassman, K.G. (Ed.). *Breaking the Yield Barrier. Proc. Workshop on Rice Yield Potential in Favorable Environments*. p. 5–20.
- Reyes, H.C.G. and F.W.T. Penning de Vries. 1989. "Evaluation of a Model for Simulating the Potential Production of Rice". *Philipp. J. Crop Sci.* 14: 21–32.
- Richards, F.J. 1969. "The Quantitative Analysis of Growth". In F.C. Steward (ed.) *Plant Physiology: Volume VA*, Academic Press. New York. p. 1–76.
- Salisbury, F.B. and C.W. Ross. 1978. *Plant Physiology*. 2<sup>nd</sup> Ed. Wadsworth Publishing Company. Belmont, California. 422p.
- Sheehy, J. *et al.* 2001. "Hindsight and perspectives: yield improvements and C3 vs C4 rice". In *Program Report for 2000*. IRRI, Los Banos, Laguna, Philippines. 167 pages.
- Shibles, R.M. and C.R. Weber. 1965. Leaf Area, Solar Radiation Interception and Dry Matter Production by Soybeans. *Crop Sci.* 5: 575–577.
- Siregar, H. 1981. *Budi daya tanaman padi di Indonesia*. P.T. Sastra Hudaya. Jakarta. 320p.
- Sutoro dan A.K. Makarim. 1997. "Bentuk Tajuk Berbagai Varietas Padi dan Hubungannya dengan Potensi Produksi". *Penelitian Pertanian ISSN 0216-9959*. Vol. 15: Badan Litbang Pertanian. Bogor: Pusat Penelitian Tanaman Pangan. 68 hal.
- Tsunoda, S. 1959. "A Developmental Analysis of Yielding Ability in Varieties of Field Crops. II. The Assimilation-System of Plants as Affected by The Form, Direction and Arrangement of Single Leaves". *Japan J. Breed.* 9: 237–244.
- Tsunoda, S. 1964. "Leaf Characters and Nitrogen Response". In *The Mineral Nutrition of the Rice Plant. Proceedings of a Symposium at IRRI*, February 1964. p. 401–418.
- Tsunoda, S. 1972. "Photosynthetic Efficiency in Rice and Wheat". In *Rice Breeding*. International Rice Research Institute. Los Banos, Philippines. p. 471–482.
- Tsunoda, S. 1975. "Leaf Constitution, Energy Conversion and Plant Adaptation". In T. Matsuo (Ed.). *Adaptability in Plants*. JIBP Synthesis 6. Tokyo: University of Tokyo Press. 140–147.
- Vergara, B.S. 1980. "Rice Plant Growth and Development". In B.S. Luh (Ed.) *Rice: Production and Utilization*. AVI Publishing Company. Westport, Connecticut. p. 75–86.
- Wada, G. 1969. "The Effects of Nitrogenous Nutrition on the Yield Determining Process of Rice Plant". *Bull. Nat. Inst. Sci. Japan Ser. A* 16: 27–167.

- Waggover, P.E. 1969. "Environmental Manipulation for Higher Yields". In *Physiological Aspects of Crop Yield*. ASA-CSSA, Madison, Wisconsin. p. 343–373.
- Whittaker, R. H. 1975. "Communities and Ecosystems". 2<sup>nd</sup> ed. New York: Macmillan Publishing. 385 p.
- Yoshida, S. 1981. *Fundamentals of Rice Crop Science*. International Rice Research Institute. Los Banos, Philippines.
- Yuan, L.P. 2003. "Recent progress in breeding super hybrid rice in China". In Virmani S.S. *et al.* (Ed.). *Hybrid Rice for Food Security, Poverty Alleviation, and Environmental Protection*. International Rice Research Institute, Manila, Philippines. p. 3–6.
- Zapata, F.J. *et al.* 1983. "Rice Anther Culture at IRRI". In *Cell and Tissue Culture Techniques for Cereal Crop Improvement*. Science Press. Beijing, China. p. 27–46.