

Fisiologi dan Sejarah Penyebaran

J. Wargiono, Solihin, T. Sundari, dan Kartika

TAKSONOMI DAN SEJARAH

Taksonomi

Secara taksonomis ubikayu termasuk kelas *Dicotyledoneae*, sub-kelas *Archichlamydeae*, ordo *Euphorbiales*, famili *Euphorbiaceae*, suku *Manihoteae*, genus *Manihot*, dan spesies *Manihot esculenta* Crantz (Carlos 1983).

Kelas *Dicotyledoneae* dicirikan oleh biji dengan dua kotiledon, dan sub-kelas *Archichlamydeae* dicirikan oleh kelopak bunga yang kecil. *Euphorbiaceae* termasuk famili yang paling besar, meliputi 7.200 spesies. Ciri utama dari famili *Euphorbiaceae* adalah perkembangan pembuluh lateks (*laticiferous vessels*) yang tersusun dari sel-sel yang mengeluarkan lateks yang dikenal dengan *galactocytes*.

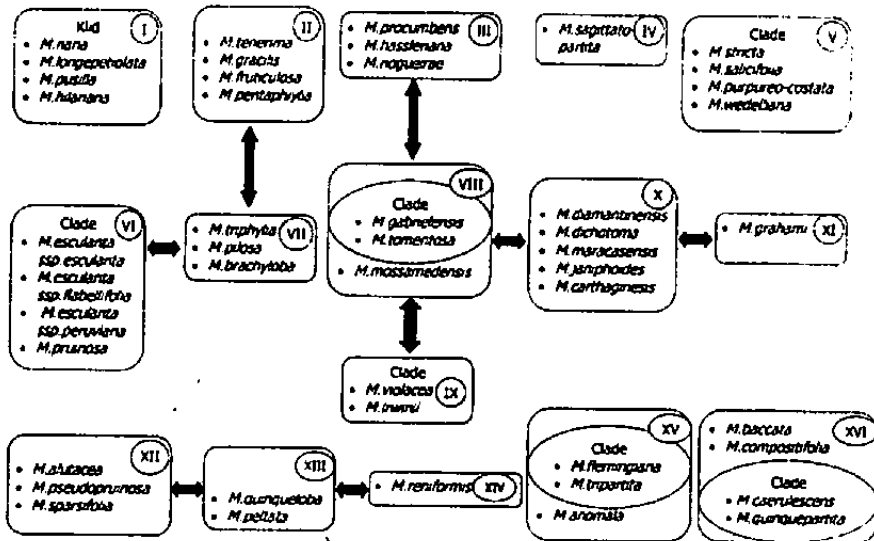
Famili *Euphorbiaceae* terdiri atas tanaman yang kebiasaan tumbuhnya beragam, berupa pohon, belukar, atau rumput yang hasilnya bernilai ekonomi tinggi dalam bentuk (1) lateks (*Hevea brasiliensis*), (2) minyak (*Ricinus comunis*), (3) ubi yang dapat dimakan atau *edible* (*Manihot* spp.), di samping sebagai gulma (*Euphorbia* spp), ornamen, dan obat-obatan. Dari kelompok tanaman yang bervariasi tersebut ditemukan beberapa tipe kedudukan buah atau tangkai buah, yaitu (1) buah tunggal yang menempel/ tertanam pada batang/ketiak daun, (2) buah yang tangkainya tertanam pada rangkaian buah, dan (3) buah yang tangkainya tertanam pada buah palsu. Bunganya berumah dua (kepala putik dan kepala tepungsari tumbuh pada tangkai bunga yang berbeda) dan buahnya berkotak tiga (tiga biji tiap buah).

Salah satu suku yang paling penting dari famili *Euphorbiaceae* adalah *Manihotae*. Genus *Manihot* dalam suku *Manihotae* dapat berbentuk pohon/kayu, semak, dan gulma yang tinggi. Dari sekitar 100 spesies *Manihot* yang telah teridentifikasi hanya satu yang telah dibudidayakan secara komersial yaitu *Manihot esculata* Crantz yang secara taksonomis dengan sinonim *Manihot utilissima*, dan secara regional dengan sinonim *manioc*, *tapioca*, *mhogo*, *omowgo*, ubikayu, singkong, kaspé, bodin, sampeu, ketela, kahoi, kamoteng, dan sampalang (CGIAR 2000, Wargiono *et al.* 2006).

Asal Ubikayu secara Botanis

Dari studi taksonomi genus *Manihot* di Brasil diperoleh informasi yang relevan dengan asal dan fitogeni ubikayu. Berdasarkan hasil studi yang diturunkan dari pengalaman empiris di lapangan diperoleh suatu model klasifikasi yang menggambarkan tingkat hubungan keturunan antarspesies yang terdiri atas 6 grup, tujuh grup di antaranya mempunyai kesamaan genetik dan ekogeografis (klid), 11 grup mempunyai kesamaan genetik yang kuat (Gambar 1).

Sejarah munculnya ubikayu dimulai dari ditemukannya suatu populasi liar yang dibudidayakan penduduk Brasil Tengah (Golas) yang secara morfologis sulit dibedakan (Allem 2002). Dalam perkembangan selanjutnya ditemukan lima spesies yang diyakini dekat dengan ubikayu berdasarkan kesamaan morfologi, ekologi, dan geografi (Tabel 1). Berbagai studi menunjukkan bahwa *M. aesculifolia* secara morfologis dekat dengan *M. esculenta* liar; *M. aesculifolia* secara genetik dekat dengan *M. carthaginensis* dan diduga sebagai nenek moyang ubikayu; *M. flabifolia* sebagai pembawa gen ubikayu komersial (modern) maupun lokal. Berdasarkan pengujian molekuler maupun biokimia, spesies tersebut dipastikan sebagai nenek moyang ubikayu, karena 80% dari hasil pengujian menyatakan sangat dekat kesamaannya. Namun terdapat perbedaan 10% antara dua spesies yang sangat dekat dengan nenek moyang ubikayu (*M. esculenta* ssp. *flabellifolia*), yaitu *M. esculenta* ssp. *peruviana* terdapat perbedaan 10%.



Gambar 1. Hubungan genetik spesies *Manihot* (Allem 2002).

Tabel 1. Spesies manihot yang dekat dengan nenek moyang ubikayu berdasarkan kesamaan kld.

Species	Sebaran geografis
<i>M. carthaginensis</i>	Seluruh negara yang berbatasan dengan Karebia
<i>M. aesculifolia</i>	Meksiko dan negara-negara Amerika Tengah
<i>M. graham</i>	Brasil, Paraguay, Uruguay, Argentina
<i>M. flabellifolia</i>	Brasil, Paraguay, Uruguay, Argentina
<i>M. sexicola</i>	Gulana, Suriname, Venezuela

Sumber: Allem (2002).

Asal Ubikayu secara Geografis

Geografi yang digunakan dalam konteks ini adalah filogeni, misalnya wilayah dimana evolusi dan pemencaran nenek moyang ubikayu terjadi dan ketepatan hubungan filogenetik dengan spesies lain. Berbagai pendapat mengemukakan bahwa *M. pruinosa* dan *M. esculenta* spp. *flabellifolia* berasal dari suatu sumber (stok) yang sama pada dahulu kala. Namun dipertanyakan perkembangannya di Brasil, apakah leluhur kedua spesies tersebut berkembang di padang savana Cerado, atau sebaliknya berkembang di Amazon, kemudian menyebar ke padang savana Cerado, dan akhirnya berpencar *M. pruinosa* dan *M. esculenta* spp. *flabellifolia* saja yang tersisa, dan kemudian kembali ke Amazon. Baik Cerado maupun Amazon merupakan hutan dengan vegetasi yang cukup tua. Amazon mengalami bencana alam besar lebih dari 100.000 tahun yang lalu dan menyebabkan kepunahan berulang. Jawaban atas pertanyaan benarkah Cerado lebih tua dari Amazon dapat memberikan wawasan mengenai evolusi dari nenek moyang ubikayu. Bila vegetasi Cerado terbentuk lebih dulu daripada hutan Amazon, maka nenek moyang ubikayu telah terjawab.

Negara bagian Golas, terutama yang terbentuk dari vegetasi Cerado, merupakan pusat keragaman spesies Manihot di Brasil. *M. pruinosa* muncul secara eksklusif di Golas dan Mato Grosso State, dan tumbuh subur di hutan terbuka Cerado serta saling menutup (*overlapping*) dengan *M. esculenta* spp. *flabellifolia*. Karena itu asal stok yang melahirkan *M. pruinosa* dan *M. esculenta* spp. *flabellifolia* mungkin muncul di hutan tanaman lateks di padang rumput Brasil Tengah, kemudian berubah menjadi dua spesies yang menguasai Amazon. Penemuan *M. pruinosa* dan *M. esculenta* spp. *flabellifolia* mempunyai relevansi dengan filogeni dari ubikayu. Spesies tersebut hidup dalam suatu geografi, ekologi, morfologi, dan bentuk hidup yang sama, tetapi tidak seorang pun yang mempersoalkan peringkat taksonominya selama lebih dari 150 tahun sejak deskripsi asli dibuat oleh botanis Austria JBE. Phol. pada tahun 1827.

Hubungan kuat secara morfologis antara *M. pruinosa* dan *M. esculenta* spp. *flabellifolia* tidak disangsikan lagi. Pengujian biosistematis akan mendeterminasi tingkat fertilitas antara dua spesies tersebut maupun dengan ubikayu. Pengujian terencana akan mengungkap apakah *M. pruinosa* sebagai bagian dari genpool (GP-1) ubikayu, dan dengan demikian merupakan gabungan antara *M. flabellifolia* dengan *M. peruviana*. Bila *M. flabellifolia* merupakan bagian dari gen pool ubikayu, maka *M. peruviana* adalah spesies liar yang paling dekat dengan ubikayu. Spesies Manihot yang termasuk genpool-1 (GP-1) adalah (1) *M. esculenta* spp. (sudah dibudi dayakan), (2) *M. esculenta* spp. *flabellifolia* dan *M. esculenta* ssp. *peruviana* (progenitor liar), (3) *M. pruinosa* (relatif liar dan sangat dekat hubungannya dengan ubikayu). Spesies yang termasuk GP-2 adalah *M. triphylla*, *M. pilosa*, *M. brachyloba*, *M. anomala*, *M. pruinosa*, *M. gracilis*, *M. tripartita*, *M. leptophylla*, *M. pohlii*, *M. glaziorii*, *M. dicotoma*, *M. aesculifolia*, dan *M. chlorosticta*. Kepastian *M. esculenta* spp. *flabellifolia* bagian dari GP ubikayu dan *M. pruinosa* merupakan spesies liar yang berhubungan dekat dengan ubikayu yang didukung oleh penelitian molekuler. Fakta *M. pruinosa* dan *M. esculenta* spp. *flabellifolia* berasal dari satu stok yang sama mempunyai implikasi bahwa keduanya merupakan awal evolusi ubikayu dan asal pertaniannya. Areal kedua spesies tersebut mungkin berkembang atau menyempit, sehingga layak dipilih sebagai dasar pertimbangan asal pembudidayaan ubikayu. Dengan demikian asal ubikayu secara geografis adalah Brasil Tengah.

Asal Pertanian Ubikayu

Ubikayu merupakan spesies tanaman purba yang diperkirakan mulai dibudidayakan pada 5.000-7.000 tahun sebelum Masehi berdasarkan temuan arkeologis di Amazon (Lathrap 1970). Pada saat orang Eropa pertama menemukan dunia baru (Amerika) ubikayu telah dibudidayakan di seluruh wilayah tropis Amerika. Keunikan budi daya ubikayu tersebut didukung oleh dua faktor utama yang saling berhubungan, yaitu (1) ubikayu diperbanyak secara vegetatif dan cara tersebut diasumsikan lebih kuno dibanding cara generatif, (2) ubikayu sangat penting bagi penduduk asli peladang di Amerika akibat kombinasi faktor-faktor ekologis yang sesuai untuk pertumbuhan tanaman dan faktor budaya. Faktor budaya dalam bentuk tradisi (kepatuhan terhadap kelestarian lingkungan biotik dan abiotik) memegang peranan penting dalam pelestarian usahatani ubikayu dan kemudian menyebar di antara komunitas Indian Amerika.

Walaupun Pohl tahun 1872 telah mengisyaratkan bahwa Brasil adalah tempat asal ubikayu, namun para penyelidik lebih dari 100 tahun membahas isu tersebut tanpa pencapaian suatu ketetapan dan kesepakatan.

Sebenarnya sudah diketahui bahwa budi daya ubikayu relatif sederhana, yaitu dengan memotong batang yang sudah tua sebagai bibit, menanam, dan setelah beberapa bulan kemudian sudah menghasilkan. Namun untuk menyeleksi leluhur ubikayu liar yang dapat menghasilkan ubi bila dibudidayakan sangat kompleks mengingat banyaknya spesies *Manihot* liar (40-70) yang tumbuh di Brasil.

Untuk menetapkan leluhur ubikayu digunakan pendekatan hasil penelusuran terhadap keberadaan leluhur ubikayu liar dan sejarah budidayanya dari Brasil Utara (11°28'LS, 61°21'BB) sampai Brasil Selatan (09°58'LS, 51°00'BB):

- Proginetor ubikayu liar dan ubikayu hutan tumbuh sebagai gulma agresif di sepanjang sisi jalan dan kebun tanaman pangan. Ubinya dilaporkan beracun dan daun segarnya dapat membunuh babi. Ubi harus diproses menjadi tepung bila akan dikonsumsi, sedangkan daunnya tidak digunakan sebagai pakan karena dapat meracuni ternak.
- Kebiasaan penduduk asli Brasil dalam membudidayakan ubikayu adalah membabat hutan mumi (primer) dan lahan tersebut akan segera ditanami ubikayu liar dan pada tahun pertama masih bersifat gulma agresif. Stek dari ubikayu liar tersebut selanjutnya ditanam dan dapat menghasilkan ubi yang cukup besar untuk diproses menjadi tepung sebagai bahan pangan.
- *M. esculenta* spp. *flabellifolia* liar tumbuh subur di pinggir hutan sebagai gambaran cara budi daya ubikayu penduduk asli lokal. Petani biasanya memangkas daun ubikayu tersebut sebagai pakan ternak, sedangkan untuk budi daya, agar dapat menghasilkan ubi untuk diproses menjadi tepung, digunakan stek generasi ke-2 karena stek dari generasi pertama hasilnya sangat rendah.
- *M. melonobasis* liar dapat menghasilkan ubi yang besar bila dibiarkan tumbuh beberapa tahun, sedangkan *M. glaziovii* dapat dipanen optimal setelah berumur tujuh tahun.

Berdasarkan hasil penelusuran tersebut penentuan asal pembudidayaan ubikayu menggunakan pendekatan areal penutupan (*covering area*) leluhur ubikayu liar tersebut pada suatu wilayah. Dengan demikian negara asal pembudidayaan ubikayu berdasarkan hasil penelitian adalah Brazil (58%), Meksiko dan Peru (13%), Venezuela (8%), dan tersebar di lima negara (masing-masing 4%) seperti dapat dilihat pada Tabel 2. Namun mata rantai spesies liar nenek moyang ubikayu dengan ubikayu modern masih perlu diteliti.

Tabel 2. Wilayah yang diyakini sebagai asal pembudidayaan ubikayu.

Negara	Jumlah penelitian pendukung (%)
Brasil	58
Meksiko	12,8
Peru	12,5
Venesuela	8
Amerika Selatan	4
Amerika Tengah	4
Amerika Utara	4
Guatemala	4
Honduras	4

Sumber: Allern (2002).

Transisi Mata Rantai Ubikayu

Transisi mata rantai antara dua spesies liar nenek moyang ubikayu dengan ubikayu modern (*domesticated cassava*) dapat memberikan gambaran asal pembudidayaan dan evolusi ubikayu pada zaman pra-Columbian. Gambaran mata rantai tersebut pertama ditemukannya satu varietas lokal yang disebut *manipeba* yang tumbuh merambat dengan umur panen enam tahun untuk mendapatkan ubi berkadar pati tinggi. Selain tipe tersebut, ditemukan pula *manipeba preta* di Mari dan *manipeba-granda* di Paraiba yang sudah merupakan ubikayu modern sebagai tanaman pangan dari genus *Manihot*. Ditemukan pula *manipeba* yang hampir selalu mengarah ke varietas primitif yang sesuai dengan tradisi sosial masyarakat pedesaan pada beberapa rumah tangga di Paraiba. *Manipeba* tersebut hanya pada areal terbatas ditanam karena secara ekonomi tidak menguntungkan. Beberapa *manipeba* lainnya ditanam berdasarkan sosial budaya. Oleh karena itu, jumlah tanaman di tiap pekarangan penduduk relatif terbatas, 1-6 pohon. Terdapat kecenderungan bahwa tanaman tersebut berperan sebagai cadangan pangan untuk mengatasi bencana kelaparan yang disebabkan oleh kemarau panjang. Bila diyakini kemarau panjang akan datang, maka pemuka adat memerintahkan warganya menanam *manipeba*. Walaupun budi daya *manipeba* merupakan pertimbangan jangka pendek, namun mereka bangga memiliki *manipeba* yang berproduksi tinggi dan pada gilirannya mengusulkan seleksi masa secara optimal yang merupakan keputusan adat. Keputusan adat tersebut kurang efektif karena jumlah tanaman *manipeba* yang relatif banyak hanya ditanam di dua lokasi, yaitu Rio Grande do Norte (100 tanaman) dan Paraiba (50 tanaman).

Secara botanis, *manipeba* dekat dengan *M. esculenta* spp. *flabellifolia* liar, yang ditandai oleh adanya persamaan dasar dalam tipe bunga dan morfologi daun. Berdasarkan penutupan wilayah oleh tanaman di sepanjang

jalan menuju wilayah pembudidayaan, yaitu wilayah pertama kali ditemukan sifat-sifat ubikayu kuno (*undomesticated*), diyakini bahwa sifat agronomis lebih dulu dibedakan sebelum sifat botanis. Sebagai contoh, pada ubikayu modern terlihat bekas tangkai daun pada batang yang menonjol dan jaraknya saling berdekatan, sedangkan pada *manipeba* dan ubikayu liar ciri tersebut cenderung tidak jelas.

Habitus *manipeba* berubah-ubah, yaitu dari bentuk semak rendah, bercabang banyak, selalu tumbuh dari semi horizontal dan sering merayap di permukaan tanah. Secara agronomis, ubikayu lokal *manipeba* berkonotasi dengan kadar HCN tinggi (pahit) dan hanya digunakan untuk membuat tepung agar aman dikonsumsi. Kualitas dan hasil ubi yang tinggi diperoleh dari tanaman berumur 4-5 tahun, sehingga pembudidayaannya secara regional sangat terbatas. Kondisi tersebut juga menggambarkan sifat primitif tanaman. *Manipeba* tumbuh baik pada wilayah marginal, sedangkan varietas ubikayu lainnya tidak dapat hidup. Keberadaan *manipeba* menjembatani senjang bangun (*architectural*) dan senjang agronomis antara bentuk ubikayu liar dan modern. Keberadaan *manipeba* juga mengisyaratkan bagaimana pembudidayaannya telah berlangsung pada zaman dahulu dan menggambarkan bahwa bagian substansial dan keragaman yang melekat pada ubikayu bisa merupakan akibat seleksi alamiah. *Manipeba* merupakan bentuk asli yang sempurna dari varietas Manihot yang sangat primitif. Sebagai suatu varietas lokal purba, kepentingan etnobotaninya dalam menjelaskan kemungkinan jalur hingga pembudidayaan layak dimasukkan ke dalam koleksi internasional.

Teori yang mendukung bahwa *manipeba* sebagai transisi mata rantai ubikayu adalah (1) ubikayu diperbanyak melalui stek yang stoknya kemungkinan berasal dari nenek moyang ubikayu seperti *M. esculenta* spp. *flabellifolia*, *M. aesculifolia*, *M. carthaginensis*, dan *M. esculenta* spp. *peruviana*, yang keberadaannya bersama-sama dengan berbagai kultivar lokal; (2) populasi strain liar yang padat tersebut merupakan stok yang berada secara terpencar di halaman keluarga Indian yang merupakan daya tarik dalam menjinakkan/membudidayakan ubikayu liar; (3) adanya persamaan genom antara *M. esculenta* spp. *flabellifolia* dengan ubikayu modern *M. esculenta* spp. *esculenta*; (4) pembudidayaan ubikayu sejalan dengan kegiatan suku Arawak di Brasil Utara dan pola migrasi suku Indian Amerika Latin pada zaman pra-Colombian.

FISIOLOGI TANAMAN

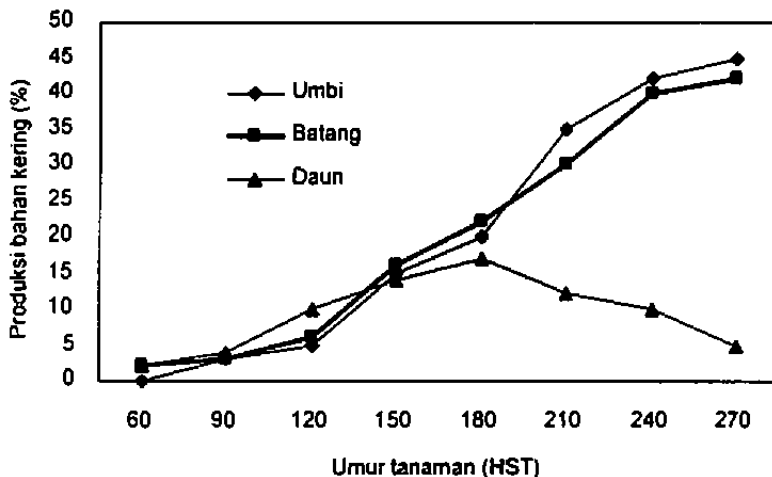
Fase-fase Pertumbuhan Tanaman

Ubikayu termasuk tanaman semak tahunan yang dalam satu siklus pertumbuhannya terdapat empat fase yaitu, (1) pertumbuhan vegetatif, (2) penyimpanan karbohidrat di dalam ubi, (3) periode datar dan kondisi yang umumnya dormansi, dan (4) adaptasi terhadap cekaman lingkungan biotik dan abiotik. Selama periode pertumbuhannya terdapat fase-fase yang cukup jelas. Kejadian dan keberadaan tiap fase pertumbuhan bergantung pada berbagai faktor seperti varietas, kondisi lingkungan, dan teknologi budi daya. Untuk mengetahui fase-fase pertumbuhan tersebut digunakan pendekatan akumulasi bahan kering tiap organ tanaman secara periodik (Gambar 2).

Secara garis besar fase pertumbuhan ubikayu adalah sebagai berikut:

Fase pertumbuhan awal (1-2 MST)

- Sekitar hari ke-4 setelah ditanam akar mulai tumbuh dari kalus stek bagian pangkal atau dari ruas di bawah mata tunas yang tertanam (berada) di tanah.
- Sekitar lima hari berikutnya mulai tumbuh tunas baru dari mata tunas stek di atas permukaan tanah, dan biasanya dimulai dari mata tunas yang sehat dan paling atas.



Gambar 2. Pertumbuhan organ tanaman ubikayu (Alves 1998).

Fase awal pertumbuhan daun dan formasi sistem perakaran (2-12 MST)

- Selama empat minggu pertama kecepatan pertumbuhan tunas dan akar bergantung pada persediaan hara yang ada di dalam stek yang ditanam.
- Mulai awal minggu ke-5 daun mulai berkembang dan melakukan fotosintesis, dan mendistribusikan fotosintat untuk pertumbuhan tanaman.
- Akar serat (*fibrous roots*) yang baru mulai menembus tanah di lapisan olah dan berfungsi sebagai penyerap hara dan air dari dalam tanah.
- Sebagian fotosintat yang tidak digunakan untuk pertumbuhan disimpan dan akar ubi (*tuberous roots*) yang menyimpan fotosintat dari daun. Varietas-varietas genjah seperti Adira-1 mampu mengakumulasi fotosintat dalam bentuk ubi segar sekitar 2 t/ha pada minggu ke-11 atau sekitar 14% dari total bahan kering. Pada varietas berumur dalam, fotosintat yang diakumulasi dalam bentuk ubi sekitar 5% lebih rendah.

Fase pertumbuhan batang dan daun (12-24 MST)

- Laju pertumbuhan maksimum daun dan batang dicapai pada umur 12-24 minggu, pada fase tersebut muncul sifat percabangan dan bentuk tanaman secara genetik.
- Mulai saat tanaman berumur 17-21 minggu, daun sudah dapat menangkap sebagian besar cahaya matahari yang masuk ke kanopi.
- Diameter kanopi mencapai maksimum dan partisi (*partition*) bahan kering ke daun dan batang juga maksimum.
- Ubi terus berkembang.
- Pertumbuhan vegetatif yang paling aktif terjadi selama periode ini.

Fase translokasi karbohidrat ke ubi tinggi (24-40 MST)

- Partisi fotoasimilat dari daun ke ubi yang dipercepat menyebabkan perkembangan ubi lebih cepat.
- Laju akumulasi bahan kering tertinggi pada ubi terjadi dalam periode ini.
- Penuaan daun mempercepat laju gugur daun.
- Batang menjadi berlignin.

Fase dormansi (40-42 MST)

- Laju pertumbuhan produksi (CGR) daun menurun.
- Sebagian besar daun gugur dan pertumbuhan tanaman di atas tanah terhenti.

- Hanya translokasi pati ke ubi dapat bertahan dan partisi bahan kering berlangsung maksimum ke ubi.
- Fase ini terutama terjadi di daerah dengan variasi curah hujan dan suhu kuat yang jelas.
- Siklus tanaman secara lengkap terjadi pada 6-12 bulan setelah tanam (bergantung pada varietas), bila pada fase tersebut ubi tidak dipanen diikuti oleh periode baru berupa pertumbuhan vegetatif, yaitu akumulasi bahan kering di dalam ubi dan terjadi lagi dormansi.

Fase bertahan terhadap cekaman lingkungan

- Pada suhu lebih rendah atau lebih tinggi, tanaman menghentikan atau memperlambat pertumbuhan vegetatif.
- Pada kondisi ternaungi, tanaman mempercepat pertumbuhan batang (etiolasi) sampai pada ketinggian intersepsi cahaya normal.
- Pada kondisi kekurangan air, akar tumbuh cepat ke lapisan tanah yang lebih dalam untuk mendapatkan air, dan mempercepat pengguguran daun untuk menekan kehilangan air melalui daun serta menutup stomata pada daun yang belum gugur.

Perkembangan Organ Tanaman

Daun

Analisis pertumbuhan tanaman dan hasil biasanya menggunakan parameter indeks luas daun (*leaf area index/LAI*) dan laju asimilasi bersih (*net assimilation rate/NAR*). Indeks luas daun (LAI) adalah luas daun tiap unit luas lahan, dan NAR adalah laju/pertumbuhan produksi daun berbasis bahan kering tiap unit luas daun. Pada ubikayu, durasi luas daun dan hasil ubi berkorelasi positif. Kondisi tersebut menggambarkan bahwa LAI penting dalam menentukan laju pertumbuhan tanaman (CGR) dan laju pembesaran ubi.

Luas daun tiap tanaman bergantung pada (1) jumlah tunas dan cabang produktif, (2) jumlah daun yang tumbuh/terbentuk tiap batang muda, (3) luas daun, (4) durasi daur daun hidup, dan (5) perilaku helaian daun.

Jumlah tunas produktif. Jumlah tunas produktif yang tumbuh dipengaruhi oleh diameter stek yang ditanam, untuk stek yang panjangnya sama (sekitar 20 cm), yaitu 2 tunas, 3 tunas, dan 4 tunas masing-masing untuk diameter stek 1,5-2,0 cm, 2,5-3,5 cm, dan lebih dari 3,5 cm, dan tunas tersebut tumbuh pada 2-4 MST (Wargiono dan Sumarjono 1981). Indeks luas daun optimal (3,5 m²/m² lahan) diperoleh pada ubikayu dengan dua

tunas/tanaman. Tumbuhnya daun baru tiap tunas berkorelasi negatif dengan jumlah tunas/tanaman, sedangkan jumlah daun tua yang gugur berkorelasi positif dengan jumlah tunas (Wargiono dan Sumarjono 1981).

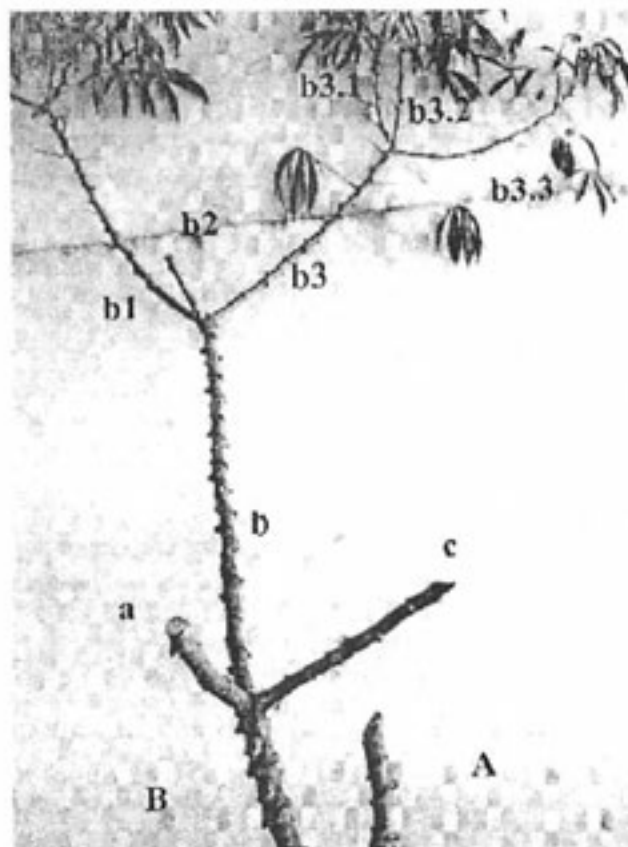
Jumlah daun. Jumlah daun efektif yang berkaitan dengan kinerja fotosintesis dipengaruhi oleh jumlah daun baru/muda yang tumbuh, daun tua yang gugur, dan jumlah helaian daun tiap tangkai daun.

Jumlah lembaran helaian daun tiap tangkai umumnya bervariasi antara 5-11 lembar, panjang tiap lembar daun berkisar antara 4-25 cm dengan lebar 1-5 cm. Tiap helaian daun berupaya menangkap sinar matahari dan saling menutup namun pengaruh saling menaungi relatif kecil, sebab tiap daun mengatur diri melalui gerakan inklinasi dan sub-inklinasi. Sudut inklinasi bervariasi antara 0-90°, di mana terdapat korelasi negatif antara sudut inklinasi dengan tingkat sinar matahari yang diterima oleh helaian daun. Semakin baik sifat intersepsi sinar matahari dari helaian daun semakin efektif kontribusinya terhadap fotosintesis, dan dengan demikian secara tidak langsung berpengaruh terhadap proses produksi ubi (Hozyo *et al.* 1984).

Luas helaian daun. Luas helaian daun setiap varietas dipengaruhi oleh umur dan pengelolaan tanaman serta jumlah helaian daun tiap tangkai. Luas helaian daun meningkat dari sekitar 20 cm² pada saat tanaman berumur 2-4 minggu menjadi sekitar 600 cm² pada saat tanaman berumur 12-24 minggu, selanjutnya helaian daun semakin luas dan akhirnya dorman (Alves 1998).

Jumlah dan luas helaian daun tiap tangkai daun dipengaruhi oleh umur tanaman dan varietas. Pada awal pertumbuhan (satu bulan pertama), helaian daun tiap tangkai bervariasi antara 3-5 helai dengan lebar daun bagian tengah 1,5-2,5 cm (a). Pada bulan ke-2 hingga ke-6, jumlah daun bervariasi antara 5-11 helai tiap tangkai dengan lebar daun bagian tengah 3,5-5,5 cm (b). Pada bulan ke-7 sampai ke-10 jumlah helaian daun menurun menjadi lima helai/tangkai untuk tipe varietas yang tidak bercabang dan menjadi 3 sampai 1 helai/tangkai pada ranting terakhir dari varietas tipe bercabang, dan lebar daun bagian tengah menyempit menjadi 1,5-2 cm.

Durasi daur hidup daun. Kuncup (tangkai + daun muda) tumbuh tiap 1-3 hari dengan jumlah tiap satuan waktu terus meningkat dengan laju 1,7%/bulan sampai tanaman berumur 24 minggu. Mulai umur 28 minggu sampai fase dorman pertumbuhan daun yang baru jumlahnya semakin menurun dengan laju 10,2%/bulan (Wargiono dan Sumarjono 1981). Perkembangan daun dari kuncup sampai tumbuh sempurna (*fully expanded*) memerlukan waktu 10-12 hari, dan daun yang telah tumbuh sempurna tersebut akan menjadi tua dan gugur setelah 36-100 hari (Allem

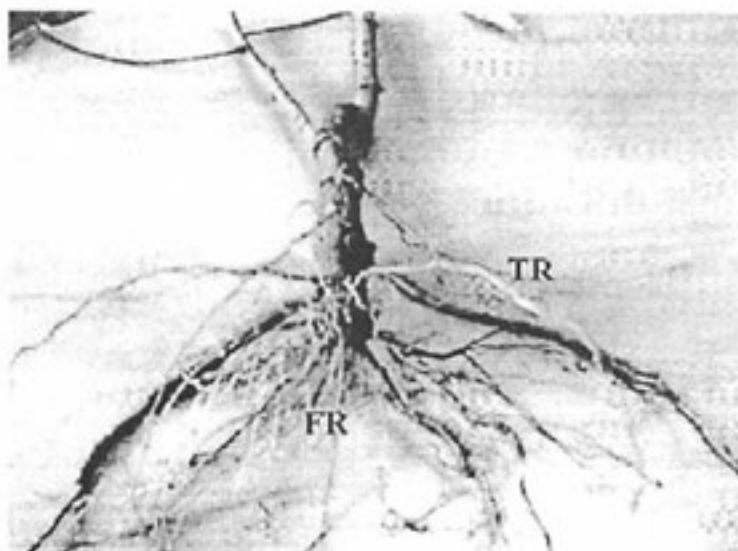


Gambar 3. Model percabangan reproduktif 3-3-3-3.

Berdasarkan struktur anatomis batangnya, maka ubikayu termasuk tipe tanaman dikotil, tersusun dari jaringan epidermis pada lapisan paling luar, diikuti oleh korteks, lapisan kambium lapisan berlignin atau kayu dan gabus di bagian tengah yang terdiri atas sel-sel parenkhimatis. Dengan meningkatnya diameter batang, sejumlah silim terakumulasi menjadi batang berkayu secara konsisten atau menjadi tua.

Akar

Akar ubikayu mempunyai dua fungsi yaitu (1) sebagai penyerap hara dan air, dan (2) penyimpan fotosintat. Akar yang berfungsi menyerap hara dan air dari dalam tanah disebut akar rambut/akar-serat (*fibrous roots*), dan akar yang berfungsi menyimpan fotosintat disebut akar-ubi (*tuberous roots*) (Gambar 4).



Gambar 4. Fase awal pertumbuhan ubi.

FR: Akar dan akar rambut

TR: Akar ubi dan akar rambut pada bagian ujung

Akar serat yang berfungsi sebagai penyerap hara dan air, tingkat efisiensinya dipengaruhi oleh volume atau kepadatan akar di dalam tanah. Kepadatan akar pada lapisan olah (40 cm) dan lapisan di bawahnya (60 cm) relatif rendah, masing-masing 25.000 mm dan 15.000 mm/mm³. Namun sekitar 500-1.000 mm/mm³ dari akar tersebut dapat menembus sampai kedalaman lebih dari 2,5 m, sehingga ubikayu mampu bertahan hidup pada kondisi kering atau toleran terhadap kekeringan. Salah satu cara untuk meningkatkan kepadatan akar ubikayu adalah dengan cara tumpangsari dengan tanaman berumur pendek seperti padi gogo dan aneka kacang.

Distribusi akar dipengaruhi oleh cara tanam dan pemotongan stek. Stek yang dipotong rata dan runcing pada bagian pangkal bila ditanam dengan posisi vertikal akarnya terdistribusi merata ke seluruh jurusan. Bila stek ditanam dengan posisi miring maka akar tidak terdistribusi secara merata. Stek yang ditanam dengan posisi mendatar, akarnya tumbuh pada bagian ujung. Pada pangkal stek dan ruas stek tumbuh tunas. Walaupun cara tanam dengan posisi mendatar menghasilkan kepadatan akar yang tinggi, namun kepadatan daun juga tinggi sehingga terjadi saling menutup antar-helaian daun. Hal ini mengakibatkan fotosintat yang dihasilkan tidak optimal dan ubi tidak dapat berkembang secara sempurna. Stek yang dipotong miring pada bagian pangkal, akarnya tidak terdistribusi secara merata, baik stek yang ditanam secara vertikal maupun miring (Wargiono 2006).

Ubi

Perubahan fungsi akar-serat (*fibrous roots*) menjadi akar-ubi (*tuberous roots*) mulai tampak jelas pada umur sekitar 3 MST. Pada Gambar 8 terlihat perbedaan antara *fibrous roots* yang tersebar merata dengan ukuran yang relatif tidak berbeda dari pangkal hingga ujung, sedangkan *tuberous root* yang jumlahnya relatif lebih sedikit membesar pada bagian tengah.

Perkembangan dan fungsi akar ubi adalah bagian pangkal menjadi tangkai ubi, bagian tengah menjadi ubi, dan pada bagian ujung tumbuh akar rambut, sehingga tetap berfungsi menyerap hara dan air dari dalam tanah. Akar ubi berjumlah 5-10/tanaman dan terus berkembang sejalan dengan bertambahnya umur tanaman.

Ubi merupakan organ utama penyimpan fotosintat. Dengan demikian, perkembangan ubi sejalan dengan peningkatan jumlah fotosintat yang dihasilkan oleh daun. Tingkat asimilasi bersih (NAR) maksimum untuk varietas Adira-1 cukup tinggi, 55 g/m²/minggu (Hozyo 1984). Laju pertumbuhan ubi berbeda dengan organ lainnya, yaitu cepat pada umur 5-8 bulan dan lambat pada umur selanjutnya, sedangkan organ lainnya cepat pada umur antara 3-6 bulan dan lambat pada umur selanjutnya. Oleh karena itu akumulasi bahan kering tiap minggunya semakin besar untuk ubi dan sebaliknya untuk organ lainnya.

Fotosintesis

Fotosintesis ubikayu mengikuti jalur atau tipe tanaman C₃, dengan laju maksimum 20-35 $\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{det}$ pada kondisi lapang. Di daerah tropis seperti Indonesia, laju fotosintesis bersih (NAR) maksimum 55 g CO₂/m²/minggu. Berdasarkan asumsi bahwa helaian daun dengan aktivitas fotosintesis 20 mg CO₂/dm²/jam dan berfungsi aktif selama 10 jam/hari, maka sekitar 86 g bahan kering akan disintesis selama satu minggu. Laju respirasi ubikayu biasanya 30%, dengan demikian bahan yang disintesis seharusnya 60 g/m²/minggu. Dengan NAR maksimum 55 g/m²/minggu maka laju respirasi ubikayu yang ditanam di dataran rendah Indonesia lebih besar dari 30%. Ubikayu sebagai tanaman tropis memerlukan suhu dan radiasi matahari relatif tinggi untuk perkembangan daun dan ekspresi potensi fotosintesis. Terdapat korelasi positif antara hasil ubi dengan jumlah biomas dengan laju fotosintesis, sehingga kriteria tersebut perlu dijadikan dasar pertimbangan dalam usahatani ubikayu agar kompetitif.

Laju fotosintesis maksimum atau laju penyerapan CO₂ untuk biosintesis fotosintat maksimum untuk varietas Adira-1 sebesar 77,5 g/m²/minggu diperoleh pada umur 21-26 MST dengan rata-rata 34,9 g/m²/minggu (Hozyo *et al.* 1984).

Pada umur 8-10 MST bahan kering lebih banyak terakumulasi di daun, kemudian menurun. Akumulasi bahan kering di dalam ubi mulai terjadi pada umur 10 MST dan setelah 12 MST meningkat dengan cepat dan mencapai lebih dari 70% dari total bahan kering tanaman pada saat panen. Kondisi tersebut kontras dengan organ tanaman lainnya seperti daun, tangkai daun, dan batang.

Periode laju akumulasi bahan kering bergantung pada genotipe dan kondisi lingkungan tumbuh. Periode laju akumulasi bahan kering maksimum untuk ubikayu di dataran tinggi antara 5-7 bulan, sedangkan di dataran rendah tropis 3-5 bulan setelah tanam.

Pengukuran laju akumulasi bahan kering secara ekonomis menggunakan parameter indeks panen (IP). IP ubikayu juga mempresentasikan efisiensi suatu varietas atau pengelolaan tanaman dalam memproduksi ubi. IP biasanya ditentukan oleh rasio bobot ubi dengan total bobot seluruh organ ubikayu. Oleh karena itu, sering pula digunakan sebagai dasar pemilihan klon dalam proses seleksi calon varietas unggul baru.

Walaupun pendistribusian bahan kering konstan, namun akumulasinya bergantung pada ketersediaan fotosintat dalam sumber (*source*) dan kapasitas limbung (*sink*). Kapasitas *sink* ditentukan oleh komponen hasil seperti jumlah ubi, bobot/ubi, kehilangan hasil, dan struktur tanah. Laju fotosintesis berkorelasi positif dengan hasil ubi dan total biomas. Demikian pula korelasi antara LAI dengan intersepsi sinar matahari dan hasil biomas, yang mengindikasikan bahwa permintaan untuk fotosintat oleh ubi meningkatkan aktivitas fotosintesis.

Secara morfologis daun ubikayu mempunyai sifat yang berkaitan dengan produktivitas tinggi dan toleran kekeringan dan konsekuensinya berhubungan erat dengan proses fotosintesis. Helai daun bagian bawah ditempati oleh sel-sel epidermis tipe-papila, sedangkan di bagian atas benar-benar rata dengan stomata dan trikorn yang menyebar. Papila menonjol menambah tebal daun sekitar 15% dan memperpanjang alur difusi dari stomata yang terbuka ke udara, mungkin 2-3 lipat. Daun ubikayu mempunyai sel-sel jaringan ikat berwarna hijau terang dengan sel yang kecil dan berdinding tipis tersebar renggang di bawah sel-sel pagar. Dalam fotosintesis berdasarkan tipe C3, sel-sel ini mungkin berfungsi dalam pengangkutan fotosintat di dalam daun. Pada tanaman tipe C4, jaringan ikat dikelilingi oleh sel yang seluruhnya berhubungan langsung dengan sel-sel mesofil yang banyak.

Pengaruh Faktor Lingkungan

Ubikayu tumbuh pada kondisi edafik iklim yang sangat variatif, berkisar antara 30' LS dan 30' LU, pada ketinggian yang berkisar antara 0-2.300 m dpl., kondisi marginal seperti tanah dengan tingkat kesuburan rendah, daerah tropis semi kering/curah hujan kurang dari 600 mm/th hingga daerah tropis semi basah sampai basah dengan curah hujan lebih dari 1.500 mm/th. Secara fisiologis, variasi faktor lingkungan tersebut cukup besar pengaruhnya terhadap laju pertumbuhan tanaman. Faktor lingkungan yang mempengaruhi pertumbuhan ubikayu di antaranya adalah suhu, panjang hari, radiasi sinar matahari, dan defisit air.

Suhu

Suhu berpengaruh terhadap pertunasan, ukuran daun, formasi daun, formasi ubi, dan konsekuensinya terhadap pertumbuhan tanaman secara umum. Pertumbuhan ubikayu paling baik pada suhu tahunan 25°C-29°C, tetapi masih toleran terhadap suhu lebih rendah dari 25°C dan lebih tinggi dari 29°C. Ubikayu memperlihatkan pertumbuhan yang masih baik pada suhu 16°C-38° (Tabel 3).

Pada suhu 16°C tunas stek lambat tumbuh, laju pertumbuhan daun dan ubi menurun, sehingga produksi bahan kering ubi dan produksi total juga menurun. Pertunasan cepat bila suhu naik sampai 30°C tetapi terhenti bila suhu terus naik hingga 37°C. Bila suhu turun, perkembangan luas daun melambat yang disebabkan oleh ukuran luas tidak mencapai maksimum, yaitu ukuran tiap daun menjadi lebih sempit, dan daun yang dihasilkan tiap pucuk berkurang walaupun lama hidup bertambah panjang. Pada suhu 15°C-24°C umur daun mencapai 200 hari, sedangkan pada suhu 30°C berkisar

Tabel 3. Pengaruh suhu terhadap pertumbuhan ubikayu.

Suhu udara (°C)	Pengaruh fisiologis
< 17 atau > 37	Pertumbuhan tunas lambat
28-30	Pertumbuhan cepat (optimum)
< 15	Pertumbuhan tanaman berhenti
16-38	Ubikayu tidak mati tetapi tidak berkembang
25-29	Ubikayu tumbuh optimal
< 17	Pertumbuhan produksi daun dan ubi menurun
20-24	Ukuran luas dan produksi daun meningkat, tetapi umur daun pendek
28	Produksi daun meningkat tetapi jumlah cabang menurun
25-30	Fotosintesis maksimum di rumah kaca
30-40	Fotosintesis maksimum di lapangan
16-30	Laju transpirasi meningkat secara linier, selanjutnya menurun

Sumber: Alves (1998).

antara 60-120 hari. Terdapat interaksi antara genotipe dengan variasi suhu, karena itu terdapat peluang untuk memilih varietas yang sesuai untuk tiap wilayah berdasarkan suhu di kawasan setempat.

Panjang Hari

Panjang hari berpengaruh terhadap proses fisiologi tanaman. Di daerah tropis perbedaan panjang hari relatif kecil, sekitar dua jam (10-12 jam/hari sepanjang tahun. Dengan demikian fotoperiode (*photoperiod*) tidak menjadi faktor pembatas dalam memproduksi ubi.

Hasil penelitian panjang hari secara artifisial menunjukkan bahwa pada hari panjang terjadi peningkatan bahan kering batang dan daun (*shoots*), tetapi jumlah bahan kering ubi menurun. Peningkatan bahan kering batang dan daun disebabkan oleh penambahan tinggi tanaman yang signifikan, luas daun/tanaman, jumlah tunas/tanaman, dan jumlah daun yang hidup/tunas tiap tanaman. Pengaruh panjang hari tersebut berbeda untuk tiap varietas, sehingga terdapat peluang untuk memilih varietas yang toleran terhadap perbedaan panjang hari.

Radiasi Sinar Matahari

Pola tanam ubikayu yang paling umum selain monokultur adalah tumpangsari dengan tanaman lain yang umurnya lebih pendek, baik di Amerika Latin, maupun Afrika dan Asia termasuk Indonesia. Sering ditemukan tumpangsari ubikayu dengan tanaman tahunan seperti dalam peremajaan tanaman perkebunan, hutan industri atau dengan kelapa yang sudah berumur puluhan tahun.

Sistem tumpangsari ubikayu dengan tanaman pangan lainnya yang waktu tanamnya bersamaan ternyata ubikayu selalu mendapatkan pengaruh naungan yang tingkatnya bervariasi dengan intensitas intersepsi cahaya yang rendah pada fase awal pertumbuhan. Ubikayu memerlukan radiasi surya yang tinggi untuk fotosintesis yang efisien, sehingga informasi tentang pengaruh naungan terhadap ubikayu sangat diperlukan.

Dalam kondisi temaungi, pembentukan ubi tiga minggu lebih lambat, terjadi penurunan jumlah ubi/tanaman dan laju akumulasi neto (NAR) sehingga menurunkan hasil sebesar 43%, 56%, 59%, 69% dan 80% masing-masing untuk tingkat naungan 20%, 40%, 50%, 60% dan 70% dari fase awal pertumbuhan sampai panen (Okoli dan Wilson 1988).

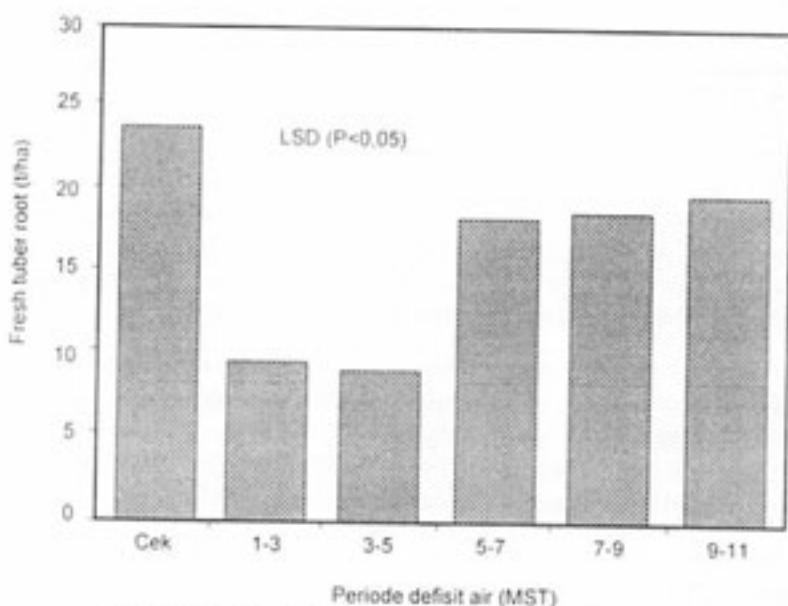
Naungan meningkatkan tinggi tanaman dan daun cenderung beradaptasi terhadap kondisi cahaya yang rendah dengan cara meningkatkan luas daun tiap satuan bobot. Luas daun yang meningkat tersebut

menyebabkan LAI lebih besar dari 3,5, sehingga intersepsi cahaya yang dapat ditangkap oleh setiap helaian daun menurun. Selain penurunan intersepsi cahaya surya yang menyebabkan fotosintesis terbatas, sebagian besar fotosintat digunakan oleh bagian tanaman di atas tanah untuk tumbuh. Kondisi tersebut terlihat dari pertumbuhan tanaman di bagian atas tanah tumbuh subur, tetapi hasil ubi turun secara signifikan. Hal ini menunjukkan tanaman di bagian atas tanah merupakan lumbung (*sink*) yang lebih kuat daripada ubi.

Defisit Air

Sebagian besar sentra produksi ubikayu terdapat di daerah beriklim kering dengan 4-6 bulan kering. Oleh karena itu, ubikayu dikenal sebagai tanaman yang toleran terhadap kekeringan. Namun hasil ubi akan rendah bila terjadi kekurangan air dalam waktu yang lama.

Sejalan dengan pertumbuhan daun maksimum antara 4-5 bulan setelah tanam dan pertumbuhan ubi cepat mulai umur 5 bulan (setelah tanam), maka fase kritis ubikayu terhadap kekeringan adalah sejak tanam sampai berumur 5 bulan. Kekurangan air selama dua bulan atau lebih dalam periode ini dapat menyebabkan penurunan hasil ubi hingga 60%, sedangkan penurunan hasil akibat kekurangan air setelah fase kritis tersebut sekitar 30% (Gambar 5) (Alves 1998, Howeler 2001).



Gambar 5. Ilustrasi hubungan defisit air dengan hasil ubi.

Tanggap Tanaman terhadap Kekeringan

Tanggap tanaman terhadap defisit air dapat diukur secara morfologis, fisiologis, seluler, dan metabolis melalui pengaturan penutupan stomata dan pertumbuhan daun, akumulasi asam absisik, dan pengaturan osmotik.

Pengaturan Tertutupnya Stomata

Pada kondisi kekeringan, respon pertama yang diperlihatkan oleh daun adalah menutupnya stomata dengan menurunkan fotosintesis dalam proses asimilasi CO_2 dan pertumbuhan. Stomata mempunyai kapasitas tinggi untuk merespon perubahan status air pada tanaman dan atmosfer. Stomata menutup bila air potensial dalam daun turun dan defisit tekanan uap antardaun, suhu atmosfer meningkat, dan kelembaban udara menurun. Oleh karena stomata merupakan tempat masuknya CO_2 ke dalam daun, maka penutupan stomata menyebabkan terbatasnya difusi CO_2 ke dalam daun, sehingga aktivitas fotosintesis menurun. Penutupan stomata yang cepat akibat penurunan transpirasi mengurangi potensial air daun dan menipisnya air tanah, dengan demikian melindungi jaringan daun sehingga tidak mengering (Cook *et al.* 1985). Tanggap tanaman terhadap kekurangan air pada fase awal pertumbuhan dari pengurangan air tanah telah digambarkan sebagai isohidrik pada kacang tunggak dan jagung. Selain melalui pengaturan penutupan stomata, tanaman juga merespon defisit air melalui penurunan luas daun melalui pengguguran daun walaupun akan segera tumbuh normal kembali bila air telah tersedia.

Daya hantar stomata daun terhadap penguapan air telah dievaluasi sebagai indikator dari kapasitas beberapa genotipe ubikayu untuk mencegah kehilangan air pada saat terjadi kemarau panjang. Variasi yang cukup besar dari perilaku daun dapat digunakan sebagai metode untuk seleksi awal plasma nutfah yang adaptif terhadap kekeringan.

Akumulasi Asam Absisik

Tanggap tanaman yang substansial terhadap kekeringan dapat dimanipulasi dengan pemberian asam absisik (ABA) secara eksternal ke tanaman yang ketersediaan airnya cukup. Perlakuan tersebut membantu melancarkan perkembangan sifat-sifat yang berubah yang dapat membantu tanaman mengatasi kondisi kekurangan air, termasuk menurunnya daya hantar stomata, pembatasan pertumbuhan akar, pembatasan luas helaian daun, dan perangsangan panjang akar. Hubungan antara kadar ABA dengan kekurangan air tergambar dari hasil analisis kadar ABA pada daun muda yang telah berkembang sempurna, semakin lama tanaman mengalami defisit semakin tinggi air kadar ABA, dan turun secara drastis seperti tanaman

yang tidak mengalami defisit air setelah tanaman diairi kembali selama tiga hari (Alves dan Setter 2000).

Peningkatan Osmotik

Suatu cara untuk meningkatkan toleransi tanaman terhadap kekeringan adalah dengan akumulasi larutan aktif secara osmosis, sehingga turgor dan ketergantungan proses turgor dapat dipertahankan selama terjadi kekurangan air. Pengaturan osmotik (OA) didasarkan pada perbedaan dalam potensial osmotik antara tanaman dengan cekaman air dan tanpa cekaman air yang memungkinkan bagi perkembangan sel dan pertumbuhan tanaman, stomata terbuka sebagian dan asimilasi CO₂ terus berlangsung pada potensial air rendah. Peningkatan terbesar dalam bahan terlarut disebabkan oleh kekurangan air terjadi pada daun yang belum mekar dan pengaturan OA terus meningkat secara progresif dari daun tua ke daun yang belum mekar (Alves dan Setter 2000).

DAFTAR PUSTAKA

- Allern, A.C. 2002. The origins and taxonomy of cassava. Resources geneticos biotecnologia, EMBRAPA, Brazil.
- Alves, A.A.C. 1998. Physiological and developmental changes in cassava under water deficit. Cornell Univ. Ithaca, USA.
- Alves, A.C.C. and T.L. Setter. 2000. Response of cassava to water deficit: leaf area growth and abscisic acid. Crop Sci. 40.
- Carlos, E.D. 1984. Morphology of the cassava plant. Study guide, CIAT, Cali, Colombia.
- Cock, J.H., M.C.M. Porto, and M.A. Charkawy. 1985. Water use efficiency of cassava influence of air humidity and water stress on gas exchange of field grown cassava. Crop Sci. 25.
- Howeler, R.H. 2001. Cassava agronomy research in Asia. Has it benefitted cassava farmers. Proc. the Sixth Regional Workshop. Ho Chi Minh.
- Hozyo, Y., M. Megawati, and J. Wargiono. 1984. Plant production and potential productivity of cassava. Contr. Cent. Res. Inst. for Food Crops. Bogor. No. 73.
- Lathrap, D.W. 1970. The upper Amazon. Thames and Hudson, London.
- Lorenzi, J.O. 1978. Absorcao de macronutrientes | acumulacao de materia seca para duas cultivares de mandioca MSc. Thesis. Univ. De Sao

Paolo, Escola Superior de Agricultura Luis de Queiros Piracicoba. Brazil.

Okoli, P.S.O. and C.F. Wilson. 1986. Respons of cassava to shade under field condition. *Field Crops Research*. 14.

Wargiono, J. dan Sumaryono: 1981. Pengaruh jumlah tunas terhadap pertumbuhan dan hasil ubikayu. *Lap. Kem. Penel. Agronomi No. 11*. Puslitbangtan. Bogor.

Wargiono, J., A. Hasanuddin, dan Suyamto. 2006. *Teknologi produksi ubikayu mendukung industri bioetanol*. Puslitbangtan. Bogor.