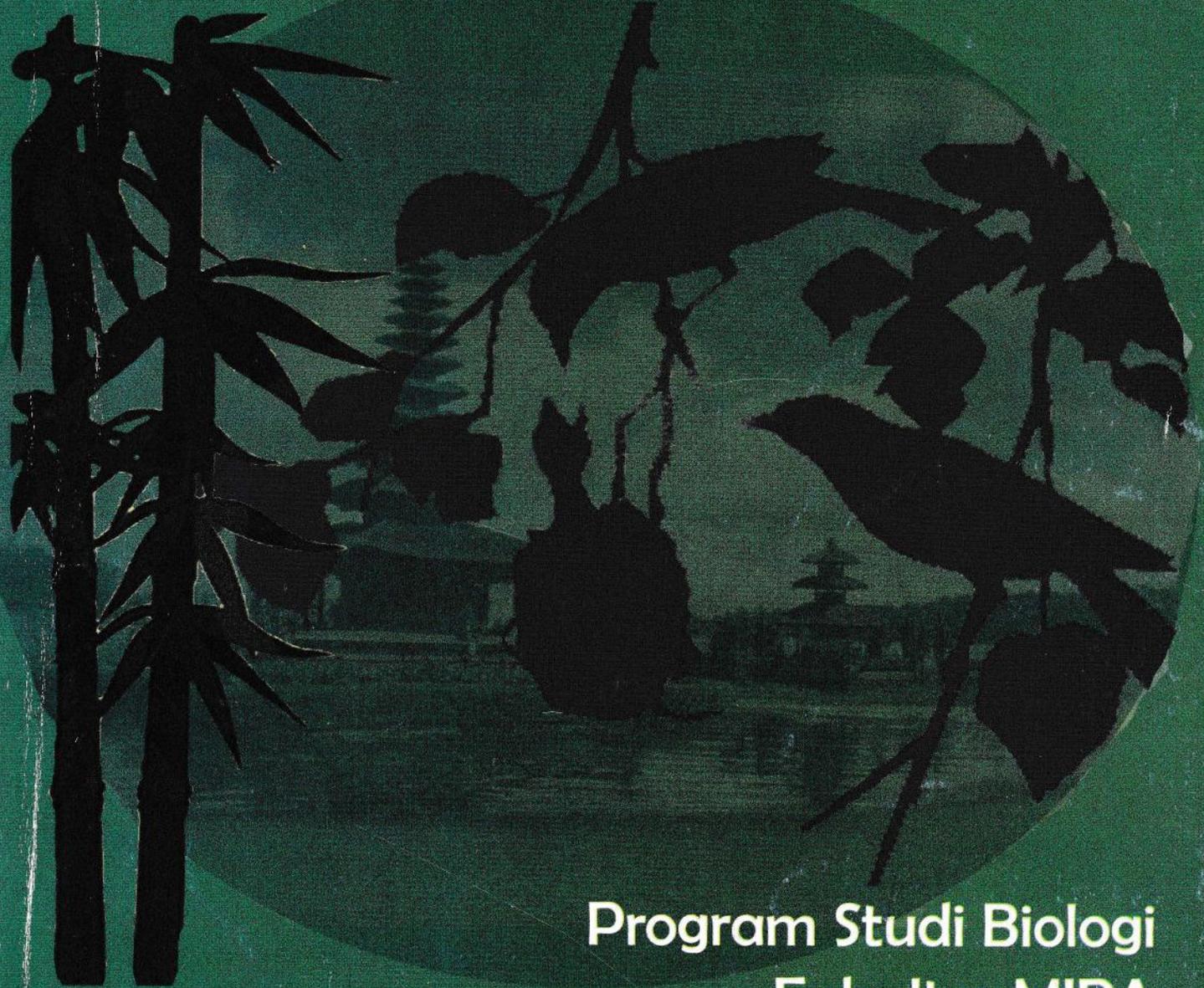


Volume 02 Nomor 01 Maret 2011

ISSN : 2086-5783

II.A.1.b.3/3  
Jurnal Nasional tak  
terakreditasi

# WIDYA BIOLOGI



Program Studi Biologi  
Fakultas MIPA  
Universitas Hindu Indonesia

Widya Biologi	Vol. 02	Nomor 01	Halaman 1 - 75	Denpasar Maret 2011	ISSN 2086-5783
---------------	------------	-------------	-------------------	------------------------	-------------------

# WIDYA BIOLOGI

## DEWAN REDAKSI

### Ketua

I Nyoman Arsana

### Sekretaris

I Putu Sudiartawan

### Anggota

Euis Dewi Yuliana, Ni Ketut Ayu Juliasih, Ni Luh Gede Sudaryati, I Wayan Suarda, Israil Sitepu

### Redaktur Ahli (*Peer Riview*)

Prof. Dr. I Dewa Made Tantera Keramas, MSc (Program Pasca Sarjana UNHI)

Dr. I Gede Ketut Adiputra (Program Studi Biologi UNHI)

Dr. I Wayan Suana, S.Si., M.Si ( Program Studi Biologi UNRAM)

**Jurnal Widya Biologi**, (ISSN No. 2086-5783) diterbitkan oleh Program Studi Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu pengetahuan Alam Universitas Hindu Indonesia Denpasar, sebagai wadah informasi ilmiah bidang biologi baik yang berupa hasil penelitian ataupun kajian pustaka

**Jurnal Widya Biologi** menerima naskah dari dosen, peneliti, mahasiswa maupun praktisi yang belum pernah diterbitkan dalam publikasi lain dengan ketentuan seperti tercantum pada bagian belakang jurnal ini.

### Langganan

Jurnal Widya Biologi terbit dua nomor dalam satu tahun (Maret dan Oktober). Langganan untuk satu tahun (termasuk ongkos kirim) sebagai berikut:

1. Lembaga.Institusi : Rp. 150.000,- (seratus lima puluh ribu rupiah)
2. Individu/Pribadi : Rp. 75.000,- (tujuh puluh Lima ribu rupiah)
3. Mahasiswa : Rp. 30.000,- (tiga puluh ribu rupiah)

Pembayaran dapat dilakukan dengan cara: a) Pembayaran langsung, b) wesel pos. Salinan bukti pembayaran (b) harap dikirimkan ke redaksi.

### Alamat Redaksi

Program Studi Biologi FMIPA UNHI  
Jl Sangalangit, Tembau-Penatih, Denpasar, Bali  
E-mail : widyabiologi@yahoo.co.id

## DAFTAR ISI

### WIDYA BIOLOGI

METABOLISME ZAT BESI PADA TUBUH MANUSIA Luh Seri Ani .....	1-9
AKTIVITAS SITOKIN PROINFLAMASI AKIBAT OLAHRAGA BERLEBIH I Nyoman Arsana .....	10-20
AKTIVITAS SITOTOKSIK BEBERAPA EKSTRAK RUMPUT LAUT TERHADAP SEL MYELOMA NS-1 I Wayan Sudira .....	21-26
STUDI HISTOLOGI ABOMASUM SAPI BALI Ni Luh Eka Setiasih .....	27-31
UNSUR HARA, BUAH DAN METABOLIT SEKUNDER PADA TANAMAN I Gede Ketut Adiputra .....	32-40
UJI KUALITAS SIFAT TANAH SAWAH AKIBAT PEMBERIAN PUPUK ORGANIK E. Dewi Yuliana .....	41-48
PENGARUH PEMBERIAN JENIS MAKANAN TAMBAHAN TERHADAP PRODUKSI TELUR JANGKRIK ( <i>Gryllus sp.</i> ) I Wayan Suarda .....	49-54
PEMANFAATAN FLORA DAN FAUNA SEBAGAI ATRAKSI EKOWISATA DI OBYEK WISATA ALAS KEDATON TABANAN, BALI I Ketut Sundra .....	55-62
KARAKTERISITK IKLIM DAN CUACA DALAM PELAKSANAAN RITUAL BERDASARKAN KALENDER SAKA DI BALI Ni Ketut Ayu Juliasih .....	63-69
PEMANFAATAN TUMBUHAN SEBAGAI BAHAN OBAT TRADISIONAL DI DESA MANUKAYA, KECAMATAN TAMPAKSIRING, KABUPATEN GIANYAR-BALI Ni Made Gari .....	70-75

# UNSUR HARA, BUAH DAN METABOLIT SEKUNDER PADA TANAMAN

I Gede Ketut Adiputra

Program Studi Biologi, FMIPA, Universitas Hindu Indonesia,  
Jl. Sangalangit, Tembau, Penatih, Denpasar.

## ABSTRAK

Buah dihasilkan tanaman setelah pembungaan dan metabolisme hasil fotosintesis sukrosa pada buah menghasilkan berbagai senyawa bermanfaat baik sebagai gizi makanan maupun sebagai senyawa yang dapat menyembuhkan penyakit. Pada fase penghasilan buah, tanaman memerlukan banyak unsur hara yang diambil melalui akar. Apabila buah kemudian dipanen, maka unsur hara yang diambil tersebut akan dipindahkan dari lahan sehingga terjadilah pemiskinan unsur hara pada lahan. Penurunan ketersediaan unsur hara ini akan segera menurunkan produksi, baik jumlah maupun kualitas karena pertumbuhan dan reproduksi pada dasarnya adalah reaksi metabolisme. Proses metabolisme ini memerlukan berbagai kondisi lingkungan agar reaksi dapat berlangsung secara optimal. Upaya meningkatkan produksi perkebunan secara berkelanjutan akan sulit dilakukan apabila kondisi lingkungan seperti pemiskinan unsur hara tidak teratasi. Hal ini disebabkan karena unsur hara adalah substrat bagi sintesis senyawa organik yang dihasilkan melalui fotosintesis. Sedangkan hasil fotosintesis ini selanjutnya disintesa menjadi berbagai senyawa organik, baik yang berupa metabolit primer maupun metabolit sekunder. Oleh karena itu, kekurangan unsur hara akan segera berakibat pada hambatan pertumbuhan maupun hambatan produksi metabolit. Hambatan produksi ini selanjutnya akan mengurangi jumlah substrat yang dapat digunakan untuk menghasilkan senyawa bermanfaat yang harus disintesis pada buah. Paper ini menguraikan tentang hubungan antara ketersediaan unsur hara dan kualitas buah, produksi metabolit sekunder pada tanaman, serta manfaat metabolite sekunder bagi tanaman dan manusia.

**Kata kunci :** *Unsur hara, metabolit sekunder, buah*

## ABSTRACT

*Fruits are formed by plants after inflorescence and sucrose metabolism in fruit produce various kinds of compounds. These compounds are very important as component of human diet or could be used for pharmaceutical agent. During the formation of fruit, plants require a high amount of nutrient taken up from soil via the root systems. After the fruit is then harvested, nutrient previously taken up then transported out from the farm and resulted in continuous decreased of nutrient available. The decreasing amount of nutrient available subsequently affected plant production whether quantitative or qualitatively because this activity is basically a metabolic reaction. Therefore, for an optimal rate of metabolism, plants require various environmental conditions that enable the metabolic reaction to be proceed at optimal level. This implies that sustainable farming would hardly to be achieved if nutrient available in the farm can not be resumed whether by deliberate addition of fertilizer or by regulation of nutrient available in the farm. The sustained nutrient available is very important since nutrient is the substrate for organic compounds that is used for sucrose production. This sucrose is then metabolized to produce whether primary or secondary metabolites. Thus, nutrient available could directly affected development or production of metabolites in fruit. This paper describes the relationships between nutrient available and fruit quality, production of secondary metabolites in plants and the significant of secondary metabolites for human and plants.*

*Key words : Inorganic nutrients, secondary metabolites, fruits.*

## PENDAHULUAN

Buah-buahan merupakan komoditi penting bagi perekonomian suatu negara karena dapat mendatangkan devisa cukup besar disamping keuntungan bagi masyarakat pekebun. Budidaya buah-buahan juga menguntungkan dari segi ekologis, terutama buah yang dihasilkan golongan pohon-pohonan karena tidak menimbulkan ancaman terhadap penggundulan lahan atau erosi. Bagi masyarakat Bali, buah dipandang tidak hanya memiliki nilai ekonomi, gizi dan ekologi, tetapi juga memiliki arti khusus karena merupakan salah satu komponen dalam pembuatan banten. Semakin disadari pentingnya nilai gizi pada buah-buahan mengakibatkan semakin tingginya permintaan pasar akan buah-buahan.

Tanaman penghasil buah-buahan dapat mengalami perubahan kualitas produksi karena perubahan ekspresi genetik akibat ketidaksesuaian iklim maupun komposisi unsur hara pada lahan. Penurunan kualitas ini dapat berupa rendahnya nilai gizi atau senyawa yang bermanfaat dan pada akhirnya membuat buah tersebut tidak bernilai ekonomi, kalah bersaing dengan buah yang memiliki tampilan ataupun rasa yang lebih baik. Hal ini berarti bahwa budidaya tanaman ini tidak menguntungkan lagi bagi pekebun dan produktivitas lahan. Kemudian diupayakan dengan mengintroduksi tanaman baru yang memiliki nilai ekonomi yang menjanjikan. Perubahan vegetasi tanaman buah ini dapat berakibat pada berkurangnya sumber gizi dan bahan obat. Untuk masyarakat Bali, perubahan ini dapat berakibat pada semakin langkanya bahan baku untuk pembuatan banten.

Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk memelihara kualitas buah secara berkelanjutan adalah pemeliharaan kondisi pertumbuhan secara optimal. Akan tetapi metode yang dapat digunakan untuk mengetahui kekurangan unsur hara melalui kajian metabolisme karbohidrat pada buah belum banyak diketahui, sehingga kondisi pertumbuhan tanaman sulit dimengerti hanya dengan mengobservasi senyawa yang terdapat pada buah. Studi tentang pengaruh lingkungan terhadap kualitas buah terutama penting karena metabolit dapat bervariasi tidak hanya oleh

perbedaan jenis tanaman tetapi juga oleh lokasi, musim panen dan faktor lingkungan lainnya (Robert, 2007). Khusus tentang kualitas buah jeruk, Zekri (2009) secara lebih rinci mengemukakan bahwa kualitas buah dipengaruhi oleh *cultivar*, *rootstock*, iklim, tanah, hama dan penyakit, pengairan, dan nutrisi.

Dengan demikian, untuk memelihara nilai gizi dari buah-buahan yang dikonsumsi, kajian tentang faktor-faktor yang dapat mempengaruhi kualitas buah perlu dilakukan untuk menjaga nilai ekonomi dari buah yang diproduksi dan sekaligus juga meningkatkan kesehatan masyarakat. Tulisan ini membahas tentang unsur hara, metabolisme karbohidrat pada buah dan produksi metabolites sekunder pada tanaman.

## PEMBAHASAN

### Unsur hara dan produksi karbohidrat pada tanaman.

Produksi biomasa pada tanaman sangat bergantung pada ketersediaan unsur hara, disamping lingkungan fisik yang harus sesuai. Unsur hara makro terutama digunakan tanaman untuk mensintesis senyawa organik, sedangkan unsur hara mikro sebagian besar berfungsi sebagai kofaktor, membantu kerja enzim dalam metabolisme. Masing-masing unsur memiliki peran yang khas dalam penyusunan makromolekul sehingga kekurangan suatu unsur akan mengakibatkan terjadinya symptom defisiensi yang khas. Menurut Gardner *et al.* (1991), unsur hara yang diserap tanaman dapat digolongkan berdasarkan fungsi utamanya yaitu: Sebagai struktur dasar (C, H dan O), penyimpanan energi dan transfer ikatan energi (N, S, P), keseimbangan muatan listrik (K, Ca, Mg), aktivasi enzim dan transport elektron (Fe, Mn, Zn, B, Cu, Mo, Cl). Peran yang khas dari masing-masing unsur ini dalam menyusun perangkat berbagai fungsi dalam tanaman selanjutnya mengakibatkan produksi biomasa tergantung pada konsentrasi unsur pada tanaman.

Hubungan kuantitatif antara unsur hara tanaman dengan produksi biomasa telah dirumuskan antara lain dengan metode CNL. Pada metode ini, tanaman dikatakan mengalami kekurangan unsur apabila konsentrasi suatu unsur pada tanaman mengakibatkan penurunan produksi lebih dari 10% (Campbell & Plank, <http://www.ncagr.com> ; Lakitan 1993). Rumusan ini, secara kuantitatif menunjukkan adanya hubungan yang jelas antara unsur hara dan aktivitas metabolik pada tanaman dalam menghasilkan senyawa organik. Sementara itu, untuk mengetahui hubungan antara pemberian pupuk dan produksi senyawa organik tanaman, pada suatu lahan, dilakukan penelitian tentang kadar sukrosa pada tanaman setelah pemberian pupuk. Penelitian ini menunjukkan adanya hubungan antara unsur hara dan laju metabolisme pada daun dalam penghasilan sukrosa (Adiputra *et al* 2007 ; 2008). Akan tetapi karena fungsi masing-masing unsur dalam penghasilan metabolit ini berbeda, serta konsentrasi optimal suatu unsur pada tanaman juga berbeda, maka hubungan kuantitatif antara produksi sukrosa dan jumlah pupuk yang diberikan tersebut belum dapat diketahui. Hal ini terlalu sulit karena unsur hara yang tersedia pada lahan tidak diketahui, demikian juga unsur yang diperlukan tanaman baik jumlah maupun jenis. Namun demikian, penelitian ini telah dapat memberi petunjuk umum tentang jumlah pupuk yang dapat diberikan pada tanaman pada suatu lahan. Petunjuk umum tersebut adalah bahwa penurunan kadar sukrosa setelah pemberian pupuk menunjukkan dosis pupuk melewati jumlah yang diperlukan, sedangkan kenaikan produksi sukrosa setelah pemupukan menunjukkan pupuk yang diberikan sesuai dengan yang diperlukan tanaman.

Pengaruh pemberian pupuk terutama NPK terhadap aktivitas fotosintesis sebenarnya telah banyak dilakukan, tetapi karena variasi lahan dalam mekanisme penyediaan unsur hara sangat kompleks, maka jumlah pupuk yang perlu diberikan pada tanaman pada suatu lahan tetap masih belum jelas. Misalnya, Terry & Ulrich

(1973), Sawada *et al.* (1982) menemukan bahwa penghentian pemberian fosfor pada tanaman mengakibatkan penurunan aktivitas fotosintesis. Sementara Gastal & Lemaire (2002), menemukan bahwa akumulasi biomasa berhubungan dengan ketersediaan nitrogen, sedangkan Hong Yan Liu *et al.* (2006) menemukan bahwa kekurangan unsur hara potasium dapat menyebabkan penurunan aktivitas fotosintesis. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa produksi hasil fotosintesis dapat dipengaruhi oleh perubahan kadar salah satu atau beberapa unsur tanaman. Hal ini berarti bahwa hasil fotosintesis dapat dipandang sebagai produk dari rangkaian reaksi kimia yang komponen-komponen reaksinya tersusun dari unsur hara. Oleh karena hasil fotosintesis ini kemudian digunakan untuk menghasilkan buah, maka unsur hara dapat juga berpengaruh terhadap kualitas buah. Pada tanaman advokat ditemukan bahwa apabila tanaman mengalami stres sebelum panen maka buah yang dipanen akan mengalami *browning* lebih cepat (Bower & Cutting, 1987). Laporan yang lebih rinci tentang pengaruh unsur hara dan kualitas buah dikemukakan oleh Zekri *et al* (2009), apabila tanaman diberi tambahan unsur N, P dan K maka buah akan menghasilkan lebih banyak TSS (*total soluble solid*). Hal ini berarti bahwa kualitas buah akan menurun jika ketersediaan unsur hara pada lahan berkurang atau sebaliknya jika unsur hara yang tersedia cukup banyak maka kualitas buah akan lebih baik. Penelitian yang dilakukan pada tanaman nenas menemukan bahwa pemberian tambahan unsur hara nitrogen menyebabkan keasaman buah menjadi berkurang yang disebabkan oleh menurunnya asam bebas pada buah tersebut (Bhugaloo 1998).

Untuk mengetahui kualitas buah-buahan, terutama yang dihasilkan di Indonesia, maka perlu dilakukan kajian tentang ketersediaan unsur hara yang diperlukan untuk menghasilkan buah dengan kualitas yang baik. Sebagai indikator terhadap kualitas ini dapat digunakan salah satu dari

senyawa yang termasuk *soluble solid* seperti *soluble sugar*.

### Penyimpanan karbohidrat pada buah

Buah merupakan tempat akumulasi hasil fotosintetik yang tidak disintesa menjadi molekul struktural tanaman. Oleh karena itu, hasil fotosintesis yang tersimpan pada buah ini dengan mudah dapat diuraikan kembali menjadi molekul sederhana seperti gula atau sukrosa. Hal ini berbeda dengan hasil fotosintesis yang ditranslokasikan ke bagian tanaman yang sedang tumbuh dimana hasil fotosintesis diubah menjadi molekul struktural seperti lignin, selulosa dan polimer lainnya. Molekul struktural ini tidak mungkin dimanfaatkan sebagai bahan makanan bagi manusia.

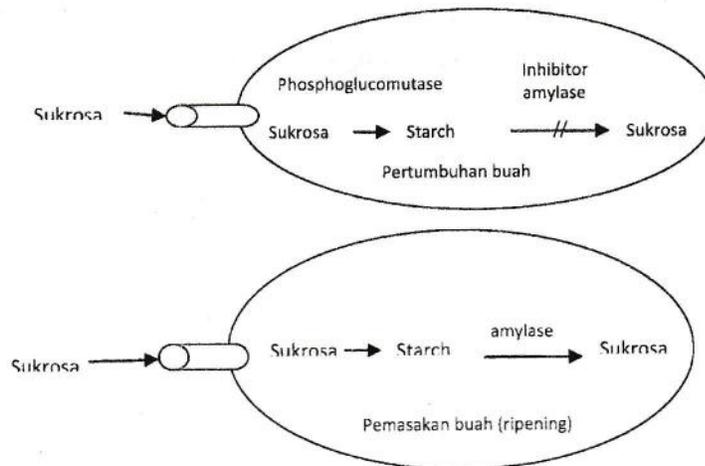
Sebelum sampai ke buah, hasil fotosintesis ditranslokasikan sebagian besar dalam bentuk sukrosa baik ke bagian tanaman yang sedang tumbuh maupun ke bagian penyimpanan makanan (Ziegler, 1973). Translokasi hasil fotosintesis kedalam buah dikenal dengan nama *phloem unloading*, melibatkan enzim *sucrosa synthase* untuk mengontrol pengiriman sukrosa kedalam buah. Senyawa ini selanjutnya diubah menjadi senyawa yang *inert* secara osmotik seperti zat tepung, sementara enzim yang berperan untuk mengontrol akumulasi tepung adalah ADP-glukosa pirofosforilase (N'tchobo *et al* 1999).

Namun demikian, dalam buah dijumpai berbagai senyawa yang bervariasi menurut jenis tanaman. Hal ini menunjukkan bahwa pada buah terjadi metabolisme aktif tidak hanya untuk dapat terjadinya akumulasi hasil fotosintesis, tetapi juga untuk membuat berbagai senyawa lain. Pada tanaman dari famili Rosaceae, sukrosa dapat mengalami perubahan menjadi sorbitol, glukosa atau fruktosa. Pada pematangan buah, sukrosa disintesa kembali dari *pool* fruktosa dan glukosa dan disimpan didalam vakuola. Setelah buah ini masak, sukrosa dapat mengalir keluar menuju sitosol karena rusaknya membran pada proses pemasakan buah (Yamaki, 1995). Pada tanaman mangga, peningkatan kadar zat tepung didalam mesocarp terjadi pada saat pematangan buah

secara fisiologis. Hal ini berarti bahwa sukrosa yang ditranslokasikan ke buah mangga disimpan dalam bentuk zat tepung. Pada buah apel, penyusunan zat tepung diatur oleh enzim phosphoglucomutase (Berüter, 2004).

Disamping enzim pengatur, pada fase pematangan buah ditemukan adanya inhibitor yang menghambat aktivitas enzim amylase (Jacobi *et al.*, 2002), sehingga zat tepung yang disimpan tidak mengalami penguraian. Pada fase selanjutnya yaitu pemasakan buah aktivitas amylase ditemukan meningkat sehingga zat tepung yang terakumulasi ini kemudian mengalami penguraian menjadi sukrosa (Jacobi *et al.*, 2002). Proses ini menunjukkan bahwa zat tepung yang disintesa dari sukrosa pada proses pematangan buah kemudian diuraikan kembali menjadi sukrosa pada pemasakan buah. Pada tanaman tomat, penyimpanan hasil fotosintesis dalam bentuk zat tepung juga ditemukan terjadi pada buah yang belum matang. Zat tepung ini selanjutnya menjadi penyumbang *soluble sugar* ketika buah menjadi matang (Schaffer & Petreikov, 1997). Penelitian tentang translokasi sukrosa ke buah tomat juga menemukan bahwa terdapat variasi dalam mekanisme penyimpanan hasil fotosintesis pada varietas yang berbeda walaupun masih tergolong satu spesies tanaman (Yelle *et al.*, 1988). Pada tanaman *L. esculentum*, sukrosa mengalami metabolisme di sepanjang jalur translokasi sedangkan pada *L. chmielewskii*, sukrosa tidak mengalami metabolisme.

Oleh karena unsur hara, terutama unsur hara makro merupakan substrat bagi senyawa organik, kadar suatu senyawa yang dihasilkan pada buah dapat dipengaruhi oleh ketersediaan unsur hara bagi pertumbuhan tanaman. Misalnya, senyawa yang banyak mengandung N dapat terakumulasi pada buah apabila pada lahan tersedia banyak N, demikian juga senyawa lain dapat terakumulasi dalam jumlah relatif lebih banyak jika unsur penyusun senyawa tersebut terdapat dalam tanah dalam jumlah yang berlimpah. Perbedaan komposisi senyawa,



Gambar 1. Metabolisme karbohidrat pada pertumbuhan dan pemasakan buah (Jacobi 2002, Berüter 2004).

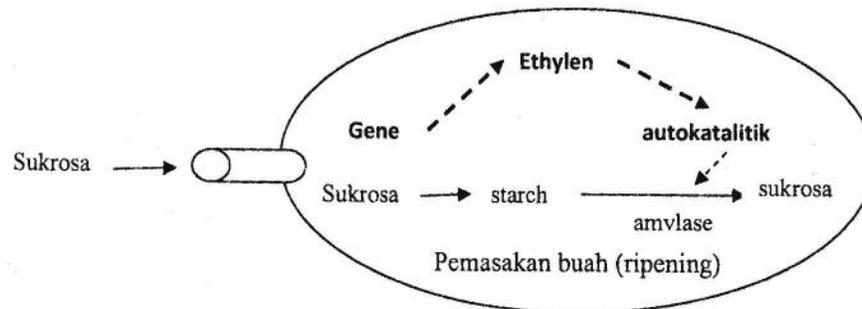
terutama enzim yang berperan dalam metabolisme karbohidrat, selanjutnya mempengaruhi keseimbangan kimia sehingga hasil akhir dari metabolisme pada buah matang juga dapat berbeda. Hasil akhir yang berupa berbagai senyawa dalam buah selanjutnya dapat menentukan kualitas buah setelah dipanen. Penelitian Naradisorn, Matchima (2008, PhD Thesis). tentang pengaruh unsur hara terhadap kualitas buah setelah panen menunjukkan bahwa buah yang dipanen dari tanaman yang diberi kalsium lebih tahan terhadap serangan jamur dibanding kontrol. Hal ini menunjukkan bahwa pemberian tambahan unsur hara kalsium dapat meningkatkan produksi senyawa yang dapat menghambat pertumbuhan jamur. Jadi kualitas buah pasca panen ditentukan tidak hanya oleh perlakuan pasca panen tetapi juga oleh kondisi pertumbuhan tanaman sebelum menghasilkan buah.

Kajian unsur hara terhadap kualitas buah pasca panen dapat sangat membantu penyediaan buah berkualitas. Laju biosintesis hasil fotosintesis pada buah tergantung pada laju pemuatan (*unloading*) hasil fotosintesis ke buah. Laju fotosintesis tergantung dari ketersediaan substrat dalam bentuk ion yang diambil melalui akar. Oleh karena itu, akumulasi zat tepung pada buah akhirnya juga tergantung pada ketersediaan

unsur hara. Secara skematis, penyimpanan hasil fotosintesis pada buah diilustrasikan pada Gambar 1

#### Penguraian karbohidrat pada buah

Pertumbuhan dan pemasakan buah telah menarik minat para peneliti karena proses tersebut disamping cukup unik bagi ilmu biologi tanaman, juga karena buah merupakan komponen penting bagi menu makanan masyarakat (Giovannoni, 2001). Senyawa yang tersimpan pada fase pertumbuhan buah mengalami penguraian menjadi berbagai molekul pada saat buah mengalami pemasakan. Penguraian ini diatur secara genetik, dan hormon yang berperan dalam proses ini adalah ethylen. Biosintesis ethylen diatur oleh dua faktor yaitu faktor pertumbuhan dan sistem autokatalitik yang dihasilkan oleh gen yang sama (Jerie *et al.*, 1991; Yokotani *et al.*, 2009). Pemasakan buah terjadi karena peningkatan produksi ethylen oleh faktor pertumbuhan dan memicu produksi ethylen autokatalitik. Pada proses tersebut produksi ethylen pada buah masak menjadi jauh lebih tinggi dari pada buah yang belum matang. Kerja ethylen dan faktor lingkungan kemudian mengakibatkan terjadinya kenaikan kadar gula sampai 7 % karena akumulasi *non reducing sugar* seperti sukrosa (Cantwell *et al.* 1992).



Gambar 2. Peran ethylene dalam penguraian karbohidrat yang disimpan dalam buah. Pada proses ini, hubungan antara ethylene dan amylase dalam penguraian *starch* belum diketahui apakah berupa sebab-akibat atau bekerja secara sendiri-sendiri.

Secara skematis peran ethylene dalam penguraian karbohidrat yang disimpan dalam buah diilustrasikan pada Gambar 2.

### Produksi dan fungsi metabolit sekunder bagi tanaman dan manusia

Menurut Robert (2007), senyawa organik yang dihasilkan oleh tanaman dibedakan menjadi metabolit primer dan metabolit sekunder. Metabolit primer adalah senyawa yang memiliki fungsi yang esensial bagi kegiatan dan pemeliharaan sel. Misalnya, giberelin, memiliki fungsi penting untuk modulasi pertumbuhan sel dan pemanjangan tanaman, karotenoid berperan penting dalam pemanenan energi matahari dan perlindungan dari kerusakan yang diakibatkan oleh sinar, dan sterol sangat penting dalam menjaga permeabilitas membran. Metabolit sekunder adalah senyawa yang tidak terlibat dalam pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Senyawa ini justru banyak bermanfaat bagi kesehatan manusia misalnya; vincristin dan vinblastin yang dihasilkan oleh tanaman *Catharanthus roseus* berkhasiat sebagai anti kanker, artemisinin yang dihasilkan oleh tanaman *Artemisia annua* berkhasiat sebagai anti malaria dan coumarins yang dihasilkan oleh tanaman *Calophyllum lanigerum* berkhasiat sebagai anti HIV.

Senyawa intermediet untuk metabolit primer biasanya dihasilkan didalam sitosol dan dikirim

ke plastida untuk diubah melalui jalur metabolit sekunder. Metabolit sekunder ini kemudian dapat diambil dari plastid untuk disimpan atau disekresikan ke lingkungan ekstraselluler. Metabolit sekunder yang hidrofilik disimpan didalam vakuola sedangkan metabolit sekunder yang hidrofobik disimpan didalam dinding sel. Metabolit ini dapat diuraikan baik secara intraselluler maupun ekstraselluler dan selanjutnya dapat disalurkan keluar atau kedalam sel dan digunakan kembali untuk metabolisme primer atau sekunder (Robert, 2007).

Pada tanaman, penghasilan metabolit sekunder merupakan proses panjang yang melibatkan gen, enzim, produk, transport dan penyimpanan (Verpoorte *et al.*, 1994). Proses ini dimulai dengan ekspresi gen untuk menghasilkan enzim yang diperlukan dalam proses biosintesis metabolit yang kemudian diangkut ke tempat penyimpanan. Pengaturan penghasilan metabolit ini dilakukan oleh mekanisme transport dan penyimpanannya.

Untuk menghasilkan metabolit yang lebih banyak maka dalam teknologi rekayasa dilakukan *bloking* terhadap jalur metabolisme yang menghasilkan senyawa yang tidak sesuai dengan metabolit yang diinginkan. Pada tingkat sel, aktivitas produksi metabolit sekunder sebagian besar terjadi pada sitoplasma, walaupun menurut Roberts (1981) dan Wink & Hartmann (1982) dalam Acamovic & Brooker (2005), beberapa

alkaloid, quinolizidine, caffein dan terpenin disintesa didalam kloroplast. Secara umum, metabolit sekunder ini biasanya dapat ditemukan pada semua bagian tanaman, tetapi sintesa awal terjadi pada bagian tertentu dari tanaman ini seperti akar, buah atau daun.

Metabolit sekunder dapat memiliki fungsi sebagai senyawa pertahanan seperti melindungi diri dari herbivora, serangga, jamur, virus dan kerusakan yang diakibatkan oleh sinar ultra violet (Acamovic & Brooker 2005). Dalam hubungannya dengan senyawa pertahanan ini, Mosleh *et al.* (2005) mengemukakan bahwa keanekaragaman struktur kimia dan konsentrasi metabolit sekunder pada tanaman diakibatkan oleh mekanisme seleksi oleh hewan pemakan tumbuhan. Selain sebagai senyawa pertahanan, metabolit sekunder ini juga dapat berfungsi sebagai penarik serangga untuk membantu penyerbukan. Pada biji-bijian, metabolit sekunder, karbohidrat dan lemak dapat mengalami *turn-over* dan digunakan tanaman sebagai bahan pertumbuhan pada saat perkecambahan.

Metabolit sekunder yang dihasilkan oleh tumbuhan memiliki pengaruh yang sangat bervariasi pada hewan dan manusia. Pengaruh ini tergantung pada susunan kimia, konsentrasi pada tanaman dan jumlah yang dikonsumsi serta status kesehatan. Pada mulanya, metabolit sekunder pada tanaman dipelajari untuk dapat menghindari bahaya yang disebabkan, tetapi pada perkembangan selanjutnya, metabolit sekunder dipelajari agar dapat dimanfaatkan untuk perbaikan kesehatan (Acamovic & Brooker 2005). Pada tanaman, senyawa yang berfungsi sebagai alat pertahanan mungkin tidak tersedia dalam bentuk yang siap pakai. Senyawa ini dibuat justru setelah tanaman terinfeksi. Misalnya, senyawa anti bakteri dan anti jamur (phytoalexin) dibuat melalui mekanisme infeksi. Oleh karena itu, senyawa ini menjadi tidak terdapat pada tanaman apabila tanaman tersebut tidak terinfeksi.

Untuk kepentingan pengobatan bagi manusia, metabolit sekunder yang saat ini banyak dipelajari adalah senyawa terpenoid, meliputi tidak kurang dari 40000 jenis senyawa yang memiliki struktur kimia berlainan.

## KESIMPULAN

Perbaikan kualitas produksi buah-buahan perlu dilakukan secara berkelanjutan melalui pemeliharaan ketersediaan unsur hara yang diperlukan tanaman untuk pertumbuhan dan reproduksi. Perbaikan kualitas produksi ini memerlukan pengetahuan yang cukup, tidak hanya tentang teknologi pasca panen tetapi juga mekanisme penyimpanan dan metabolisme hasil fotosintesis pada buah serta faktor lingkungan yang mempengaruhi pertumbuhan dan reproduksi tanaman. Pemeliharaan produksi buah yang berkualitas penting karena buah menempati posisi kedua setelah karbohidrat dalam fungsinya untuk pemeliharaan kesehatan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Acamovic, T and Brooker, J.D. 2005. Biochemistry of plant secondary metabolites and their effects in animals. *Proceedings of the Nutrition Society* 64; 403-412.
- Adiputra, I G.K., Suardana, AA. Km., Sumarya, I Md., Israil Sitepu, Sudiartawan, P. 2007. Perubahan biosintesis sukrosa sebelum pertumbuhan kuncup ketiak pada panili (*Vanilla planifolia*). Laporan penelitian Hibah bersaing I, Program studi Biologi, Fak. MIPA, Universitas Hindu Indonesia, Denpasar.
- Adiputra, I G.K., Suardana, AA. Km., Sumarya, I Md., Israil Sitepu, Sudiartawan, P. 2008. Perubahan biosintesis sukrosa sebelum pertumbuhan kuncup ketiak pada panili (*Vanilla planifolia*). Laporan penelitian Hibah bersaing II, Program studi Biologi, Fak.

- MIPA, Universitas Hindu Indonesia, Denpasar.
- Berüter J. 2004. Carbohydrate metabolism in two apple genotypes that differ in malate accumulation. Swiss Federal Research Station for Horticulture, Wädenswil CH-8820, Switzerland.
- Bhugaloo RA. 1998. Effect of different level of nitrogen on yield and quality of pineapple variety Queen Victoria. AMAS 98. Food and Agricultural Research Council, Réduit, Mauritius
- Bower JP and Cutting JGM. 1987. Some factors affecting post-harvest quality in avocado fruit. South African Avocado Growers' Association Yearbook 1987. 10:143-146. Proceedings of the First World Avocado Congress.
- Cantwell M, Flores-Minutti, J and Trejo-Gonzales A. 1992. Developmental changes and postharvest physiology of tomatillo fruit (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Scientia Hortic.*, 50:59-70.
- Gardner FP, Pearce RB, Mitchell RL. 1991. Fisiologi Tanaman Budidaya. Penerbit Universitas Indonesia.
- Gastal F and Lemaire G. 2002. N uptake and distribution in crops: an agronomical and ecophysiological perspective. *J. Exp. Bot.* 53, No. 370: 789-799.
- Giovannoni J. 2001. Molecular biology of fruit maturation and ripening. *Annual review of plant physiology and plant molecular biology.* vol. 52: 725-749
- Hong-Yan Liu HY, Wen-Ning-Sun, Wei-Ai Su, Zang-Cheng Tang 2006. Co-regulation of water channel and potassium channel in rice. *Physiol. Plant.* 128:58-69.
- Jacobi KK, Hetherington SE and MacRae EA 2002. Starch degradation in Kensington mango fruit following heat treatment. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 42(1) 83 - 92 (2002).
- Jerie PH, Hall MA, Zeroni M 1991. Aspects of the role of ethylene in fruit ripening. *Postharvest Biology and Technology* Volume 1, Issue 1, Pages 67-80.
- Mosleh Arany A, De Jong TJ, Kim HK, Van DamNM, Choi YH, Verpoorte R & Van Der Meijden E. 2005. Glucosinolates and some other chemical compounds in leaves from natural populations of *Arabidopsis thaliana* and their effects on generalist and specialist herbivores. Institute of Biology, University of Leiden, 2300 RA Leiden, The Netherlands.
- N'tchobo H, Dali N, Nguyen-Quoc B, Foyer CH, Yelle S. 1999. Starch synthesis in tomato remain constant throughout fruit development and is dependent on sucrose synthase activity. *Journal of Experimental Botany*, Vol 50, No. 338, pp. 1457-1463.
- Robert SC. 2007. Produksi dan rekayasa terpenoid dalam kultur sel tanaman. *Nature chemical Biology* 3, 387-395.
- Sawada S, Igarashi T and Miyachi S. 1982. Effect of nutritional level of phosphate on photosynthesis and growth studied with single, rooted leaf of dwarf bean. *Plant and Cell Physiology* 23: 27-33.
- Schaffer AA and Petreikov M. 1997. Sucrose-to-Starch Metabolism in Tomato Fruit Undergoing Transient Starch Accumulation. *Plant. Physiol.* 113: 739-746.
- Terry N and Ulrich A. 1973. Effect of phosphorus deficiency on the photosynthesis and respiration of leaves of sugar beet.
- Verpoorte R, van der Heijden R, Hoge JHC and ten Hoopen HJG. 1994. Plant cell biotechnology for the production of secondary metabolites. *Pure & Appl. Chem.*, Vol. 66, Nos 10/11, pp. 2307-2310.
- Yamaki S. 1995. Physiology and metabolism of fruit development - biochemistry of sugar metabolism and compartmentation in fruits -. *Acta Hort. (ISHS)* 398:109-120

- Yelle S, Hewitt JD, Robinson NL, Damon S, And Bennett AB 1988. Sink Metabolism in Tomato Fruit. III. analysis of carbohydrate assimilation in a wild species. *Plant Physiol.* 87: 737-740.
- Yokotani N, Nakano R, Imanishi S, Nagata M, Inaba A, Kubo Y. 2009. Ripening-associated ethylene biosynthesis in tomato fruit is autocatalytically and developmentally regulated. *J Exp Bot.* 2009;60(12):3433-42.
- Zekri M, Obreza TA, Koo R 2009. Irrigation, nutrition and citrus fruit quality. SL 207 Soil and Water Science Department, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida.
- Ziegler H. 1975. Nature of transported substances. -In *Transport in plants. I. Phloem transport.* Encyclopedia of Plants Physiology, New series (M.H. Zimmerman and J.A. Milburn, eds), Vol. 1, pp. 59-100. Springer-Verlag, New York, NY.