

MATA KULIAH STRUKTUR DAN FISILOGI TUMBUHAN SEBAGAI PENGANTAR PEMAHAMAN PROSES METABOLISME SENYAWA FITOKIMIA

Risanti Dhaniaputri¹⁾

¹⁾Pendidikan Biologi FKIP Universitas Ahmad Dahlan Yogyakarta

Email: risantidhania@pbio.uad.ac.id

Abstrak

Pada mata kuliah Struktur dan Perkembangan Tumbuhan prodi pendidikan biologi akan dibahas tentang struktur morfologi dan anatomi tumbuhan. Struktur morfologi membahas tentang bentuk dan struktur organ vegetatif dan generatif. Organ vegetatif meliputi akar, batang dan daun sedangkan generatif meliputi bunga, buah dan biji. Mata kuliah morfologi akan dilanjutkan dengan anatomi tumbuhan dengan bidang kajian sel dan jaringan penyusun organ vegetatif dan generatif tersebut.

Mata kuliah Fisiologi Tumbuhan melengkapi kajian tentang struktur morfologi dan anatomi tumbuhan. Pada bahasan ini ditekankan tentang proses-proses metabolisme yang terjadi dalam tubuh tumbuhan, seperti transpirasi, fotosintesis dan respirasi sel. Salah satu tujuan pentingnya mempelajari kedua mata kuliah ini adalah mengetahui tempat dan biosintesis terbentuknya senyawa kimia yang merupakan substrat dasar metabolit sekunder, sebab struktur dan fungsi merupakan satu kesatuan yang tidak dapat dipisahkan.

Kandungan senyawa kimia pada tumbuhan dinamakan fitokimia, didalamnya mengkaji beraneka ragam senyawa organik yang dibentuk dan ditimbun oleh tumbuhan, meliputi struktur kimia, biosintesis, letak persebaran dan fungsi biologi. Senyawa kimia yang dikenal berupa metabolit primer (karbohidrat, protein, lipid dan asam nukleat) dan metabolit sekunder (alkaloid, flavonoid dan terpenoid). Senyawa fitokimia dibentuk di berbagai organ tumbuhan, berfungsi untuk menjalankan proses pertumbuhan dan perkembangannya. *Capsaicin* merupakan contoh senyawa metabolit sekunder alkaloid yang memberikan rasa pedas pada cabai dan secara spesifik disimpan di vakuola sel.

Kata kunci: anatomi tumbuhan, fisiologi tumbuhan, fitokimia

PENDAHULUAN

Di Indonesia, tanaman herbal yang berpotensi memiliki senyawa obat telah berkembang pesat. Masyarakat urban sekarang yang cenderung menghindari obat-obatan kimia menyebabkan pengobatan alternatif herbal mulai mendapat perhatian. Selain harganya relatif murah, bahannya mudah didapatkan serta dipercaya memiliki efek samping minimal. Tanaman herbal yang semakin diminati membuat penelitian-penelitian terkait senyawa kimia didalamnya mengalami tren peningkatan. Untuk mengetahui jenis senyawa kimia (fitokimia) yang terkandung dalam tanaman herbal diperlukan pengetahuan dan pemahaman tentang bagaimana senyawa itu dibentuk dan disintesis.

Program studi Pendidikan Biologi dan Biologi MIPA UAD memiliki rumpun Botani dimana mata kuliahnya meliputi Struktur dan Perkembangan Tumbuhan, Fisiologi Tumbuhan serta Keanekaragaman dan Klasifikasi Tumbuhan. Ketiga mata kuliah ini memiliki standar kompetensi para mahasiswa memahami dunia tumbuhan secara keseluruhan dan dapat mengaplikasikan ilmu tersebut dalam menganalisis permasalahan sehari-hari yang terkait dengan tumbuhan (botani). Ilmu pengetahuan tentang struktur dan perkembangan tumbuhan mempelajari tentang struktur morfologi dan anatomi pada tumbuhan tingkat rendah dan tinggi, sedangkan fisiologi tumbuhan mempelajari tentang fungsi dan proses metabolisme yang terjadi dalam tubuh tumbuhan. Kedua mata kuliah ini dapat dijadikan sebagai pengantar pemahaman dalam mempelajari struktur dan fungsi metabolisme dalam tubuh tumbuhan

dalam mensintesis senyawa metabolit sekunder (fitokimia), sehingga diharapkan setelah mempelajari keduanya dapat menambah pengetahuan tentang bagaimana senyawa kimia dalam tanaman herbal itu dibentuk.

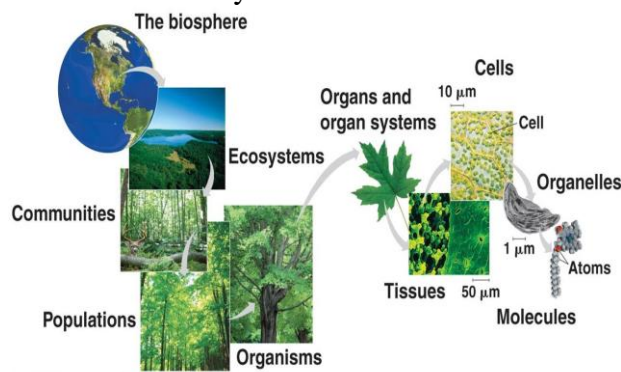
Masalah yang coba dianalisis pada tulisan ini adalah melihat bagaimana senyawa fitokimia tumbuhan dibentuk didalam sel atau jaringan serta bagaimana senyawa tersebut disintesis, sehingga dapat diketahui struktur dan proses biosintesis senyawa fitokimia. Bagi mahasiswa atau peneliti Biologi, kajian fitokimia banyak dilakukan pada struktur dan proses biosintesisnya, sedangkan bagi orang kimia atau farmasi lebih ditekankan pada struktur kimia, penamaan dan khasiat obat dari senyawa fitomia tersebut.

KAJIAN PUSTAKA

A. Struktur dan Perkembangan Tumbuhan

Tumbuhan adalah organisme multiseluler yang bersifat autotrof, yaitu dapat membuat makanannya sendiri sehingga berperan sebagai produsen dalam rantai makanan di ekosistem. Ilmu yang mempelajari tentang dunia tumbuhan disebut Botani. Kajian yang dipelajari dalam ilmu botani meliputi bentuk tumbuhan yang tampak dari luar (morfologi), struktur jaringan penyusun dalam tumbuhan (anatomi), klasifikasi dan kekerabatan tumbuhan (taksonomi), fungsi dan proses metabolisme yang terjadi dalam tubuh tumbuhan (fisiologi), interaksi tumbuhan dengan lingkungannya (ekologi) serta kajian-kajian lain yang lebih spesifik (Rosanti, 2013).

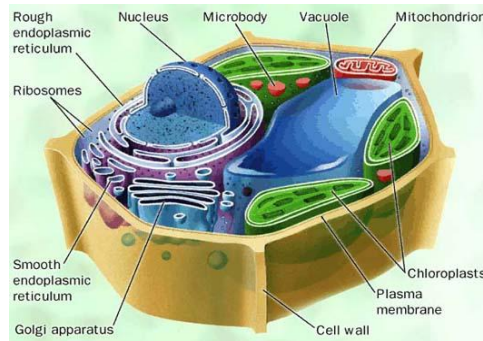
Tumbuhan merupakan organisme kompleks yang didalamnya tersusun dari sel, sekelompok sel dengan bentuk dan fungsi yang sama (hampir sama) membentuk jaringan, sekelompok jaringan akan membentuk organ, sekelompok organ membentuk sistem organ dan akhirnya membentuk organisme (individu). Sekumpulan organisme yang sama akan membentuk populasi, sekumpulan populasi membentuk komunitas dan komunitas-komunitas yang berbeda ini akan berinteraksi dengan lingkungannya dalam suatu ekosistem (Campbell *et al.*, 2003). Berikut adalah gambar penyusun organisasi kehidupan di alam dimana tumbuhan sebagai salah satu faktor biotiknya.



Gambar 1. Penyusun Organisasi Kehidupan (Matthew, 2015)

Untuk mempelajari dunia tumbuhan biasanya dimulai dari sel-sel terlebih dahulu kemudian jaringan penyusun tubuh tumbuhan tersebut. Dalam bahasan ini akan lebih ditekankan pada struktur sel dan jaringan tumbuhan (anatomi).

Sel adalah unit struktural dan fungsional terkecil pada suatu individu. Tumbuhan memiliki dinding sel yang menyebabkan struktur luarnya lebih keras dibandingkan sel hewan. Sel tumbuhan memiliki vakuola yang lebih besar daripada sel hewan, dimana salah satu fungsi vakuola ini adalah untuk menyimpan senyawa kimia yang dihasilkan oleh tumbuhan. Gambar 2 menunjukkan struktur sel tumbuhan.



Gambar 2. Struktur Sel Tumbuhan (Anonim, 2013)

Starr *et al.* (2012) menjelaskan organel penyusun sel tumbuhan, yaitu dinding sel, membran sel (membran plasma), sitoplasma, mitokondria, kloroplas, inti sel (nukleus), ribosom, retikulum endoplasma (RE), sitoskeleton, badan golgi, dan vakuola sentral. Dinding sel, kloroplas dan vakuola sentral merupakan pembeda dengan sel hewan.

Pandey dalam Nugroho dkk. (2006) membagi komponen penyusun sel tumbuhan dalam dua kelompok besar, yaitu:

1. Komponen Protoplasmik (komponen yang hidup dari sel), terdiri dari inti, mitokondria, plastida, ribosom, lisosom, retikulum endoplasma (RE), mikrotubul dan badan golgi.
2. Komponen Non-Protoplasmik (komponen yang tidak hidup dari sel), terdiri dari vakuola dan hasil metabolisme misalnya aleuron, amilum, minyak atsiri dan kristal oksalat. Komponen non-protoplasmik ini masih dibedakan antara non-protoplasmik cair dan non-protoplasmik padat.

Salah satu komponen non-protoplasmik yang berkaitan dengan senyawa fitokimia adalah vakuola. Beberapa reaksi kimia dan produk yang dihasilkan oleh sel akan ditimbun dalam vakuola. Vakuola adalah bagian sel yang berisi cairan dan sebelah luarnya dibatasi oleh membran tonoplas. Cairan dalam vakuola berisi berbagai macam bahan organik dan anorganik seperti garam, gula, asam amino pembentuk protein, fosfat dan senyawa hasil metabolisme sekunder seperti alkaloid, terpen, tanin dan flavonoid. Tidak hanya itu, dalam vakuola juga ditemukan kristal dan benda silika (Fahn, 1991).

Marty (1999) menjelaskan bahwa vakuola adalah organel multifungsi yang berperan dalam perkembangan tumbuhan. Bentuk, ukuran dan fungsinya bervariasi pada tiap organisme. Vakuola sentral berfungsi mempertahankan tekanan turgor, homeostasis, penyimpanan produk metabolit dan sebagai pencernaan sitoplasmik. Vakuola bersifat asam dan mengandung enzim hidrolitik yang fungsinya analog dengan enzim lisosom pada sel hewan. Pada beberapa tipe sel, senyawa sinyal dan proteksi diri disimpan dalam vakuola, dan beberapa sel spesifik terdapat pada daun epidermis. Antosianin yang termasuk senyawa flavonoid diketahui disimpan dalam vakuola sel epidermis daun, batang dan bunga. Davidson (2013) menunjukkan struktur vakuola sentral pada gambar berikut.

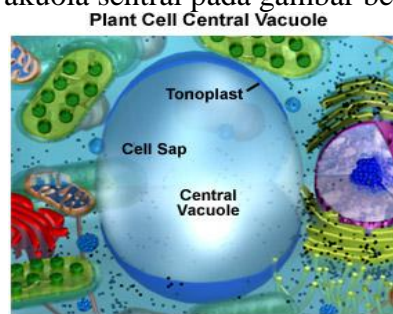
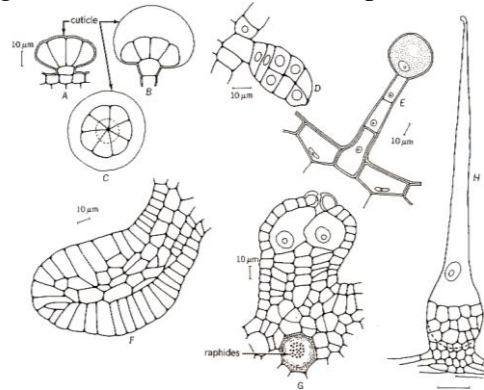


Figure 1

Gambar 3. Vakuola Sentral Sel Tumbuhan (Davidson, 2013)

Senyawa fitokimia yang disimpan dalam vakuola sel dapat berbentuk sekret, dalam suatu duktus atau saluran sekresi. Secara umum, struktur kelenjar sekresi dapat dibedakan menjadi dua yaitu struktur sekresi luar (*extracellular*) yang terdapat di permukaan tumbuhan (organ) dan struktur sekresi dalam (*intracellular*) yang terdapat di dalam organ tumbuhan (sel atau ruang antar sel) (Hidayat, 1995).

Berikut adalah contoh gambar struktur sekresi luar pada beberapa spesies tumbuhan.



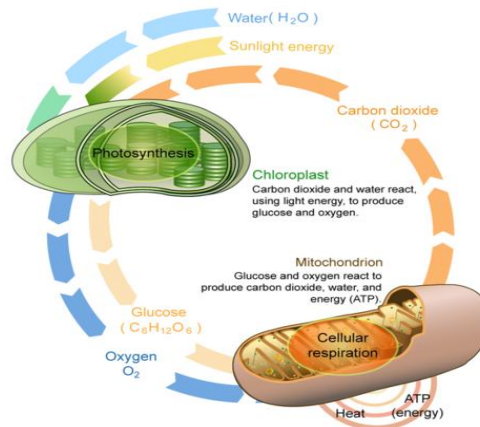
Gambar 4. Beberapa contoh struktur sekresi luar: A). Rambut kelenjar pada daun *Lavandula vera* dengan kutikula yang tidak menggelembung, B dan C. Rambut kelenjar daun *Lavandula vera* dengan kutikula yang menggelembung, D). Rambut kelenjar daun *Gossypium*, E). Rambut kelenjar dengan kepala bersel satu dari batang *Pelargonium*, F). Koleter pada daun muda *Pyrus*, G). Kelenjar mutiara daun *Vitis vinifera* dan H). Rambut gatal pada *Urtica urens* (Esau, 1977).

B. Proses Fisiologi Tumbuhan

Tumbuhan menjalani proses tumbuh dan berkembang setelah melalui serangkaian proses metabolisme yang melibatkan faktor internal dan eksternal. Faktor internal adalah faktor dalam diri tumbuhan tersebut, seperti enzim, zat hijau daun (klorofil), organel-organel sel, hormon dan sebagainya, sedangkan faktor eksternal adalah faktor lingkungan (abiotik) seperti cahaya matahari, air, unsur hara mineral, suhu udara dan lain sebagainya. Sel membutuhkan energi dalam bekerja dan berkembang biak. Energi yang dibutuhkan untuk sebagian besar aktivitas seluler ini dikenal sebagai ATP (*Adenosine triphosphate*) dan digunakan pada proses fotosintesis dan respirasi (Bidlack & Jansky, 2011).

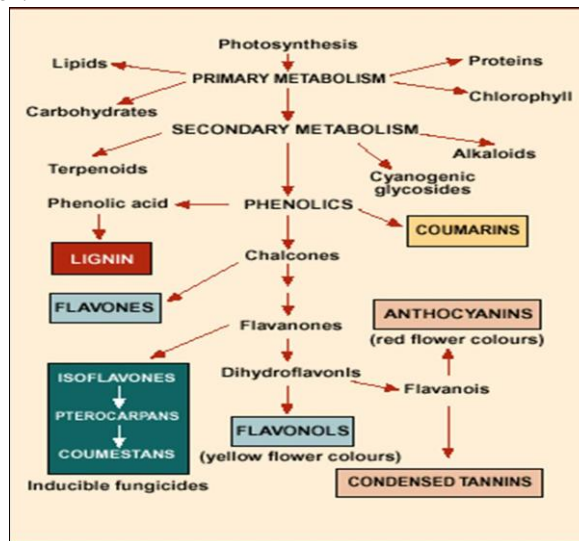
Transpirasi, fotosintesis dan respirasi termasuk proses metabolisme tumbuhan yang umum dikenal. Transpirasi dapat diartikan sebagai proses kehilangan air dalam bentuk uap air dari jaringan tumbuhan melalui mulut daun (stomata). Transpirasi berlangsung selama tumbuhan hidup. Keuntungan yang didapat dari proses ini adalah, mempercepat laju pengangkutan unsur hara melalui pembuluh xilem akar, menjaga turgiditas sel tumbuhan agar kondisinya tetap optimal dan sebagai usaha mempertahankan stabilitas suhu daun (Lakitan, 2008).

Bidlack & Jansky (2011) menjelaskan tentang perbedaan fotosintesis dan respirasi. Fotosintesis termasuk reaksi *anabolisme*, yaitu proses tersusunnya senyawa kompleks dari senyawa-senyawa sederhana. Dalam hal ini, fotosintesis melibatkan air (H_2O) dan unsur hara mineral dari dalam tanah, zat hijau daun serta karbondioksida (CO_2) dari udara. Proses ini akan menghasilkan oksigen (O_2) dan glukosa ($C_6H_{12}O_6$). Fotosintesis berlangsung didalam kloroplast yang mengandung klorofil. Respirasi termasuk reaksi *katabolisme*, yaitu penguraian senyawa kompleks menjadi senyawa sederhana. Glukosa yang telah dihasilkan dari proses fotosintesis akan dipecah menjadi CO_2 dan ATP. Respirasi sel berlangsung dalam mitokondria, sehingga organel ini dikenal sebagai penghasil energi. Berikut adalah gambar keterkaitan penggunaan substrat dan produk antara fotosintesis dan respirasi.



Gambar 5. Keterkaitan Proses Fotosintesis dan Respirasi (Anonim, 2015)

Proses fotosintesis dan respirasi menjadi faktor bahasan yang penting karena dari kedua proses inilah dihasilkan senyawa metabolit primer, yaitu karbohidrat (glukosa), protein, lipid dan asam nukleat. Metabolit primer merupakan substrat dari pembentukan senyawa metabolit sekunder (fitokimia), jadi keberadaan fitokimia bagi kelangsungan hidup tumbuhan dipengaruhi oleh keberhasilan pembentukan senyawa metabolit primer. Valluri (2009) menunjukkan dalam gambar 6. bahwa senyawa metabolit sekunder dibentuk dengan substrat metabolit primer.



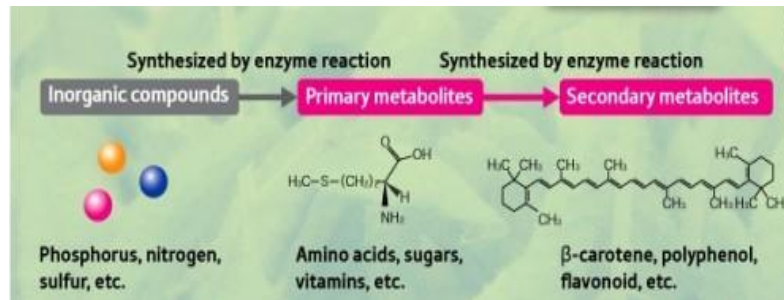
Gambar 6. Produk Metabolit Sekunder yang Dihasilkan dari Metabolit Primer

C. Biosintesis Senyawa Fitokimia

Di alam, tumbuhan hidup berinteraksi dengan lingkungannya sehingga tidak terlepas dari predator atau musuh yang mengancam keberadaannya. Di ekosistem alam hidup bakteri, jamur, virus, serangga, mamalia dan hewan herbivora lainnya. Tumbuhan tidak dapat melarikan diri dengan bergerak, sehingga mereka harus memiliki mekanisme pertahanan diri yang tepat (Dewick, 2002).

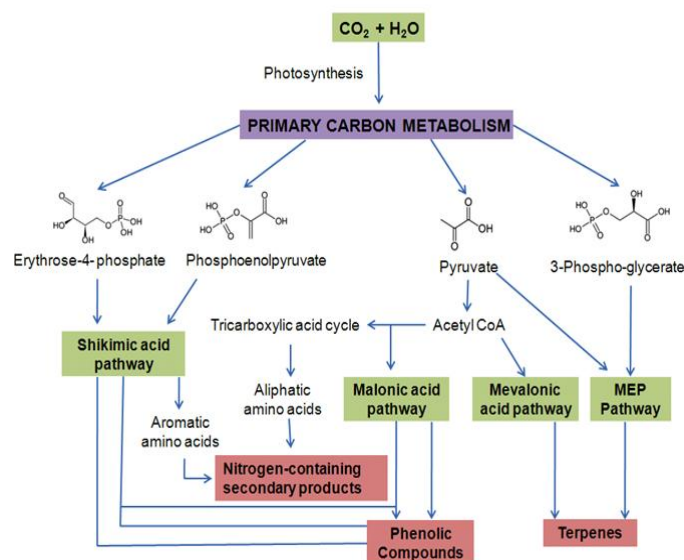
Selain memiliki kutikula pada lapisan epidermisnya, tanaman menghasilkan senyawa kimia yang dikenal sebagai fitokimia (senyawa metabolit sekunder). Senyawa ini berfungsi melawan hewan herbivora dan organisme patogen. Selain sebagai mekanisme pertahanan diri, metabolit sekunder dapat berupa lignin (struktur penguat jaringan), pigmen warna (misalnya antosianin pada bunga), sebagai senyawa antioksidan, penghasil minyak atsiri untuk wewangian dan sebagainya (Taiz & Zeiger, 2006). Gambar berikut menjelaskan

bahwa metabolit sekunder dibentuk dari sekumpulan senyawa anorganik penyusun metabolit primer.



Gambar 7. Pembentukan Metabolit Sekunder dari Senyawa Anorganik dan Metabolit Primer (Anonim, 2015)

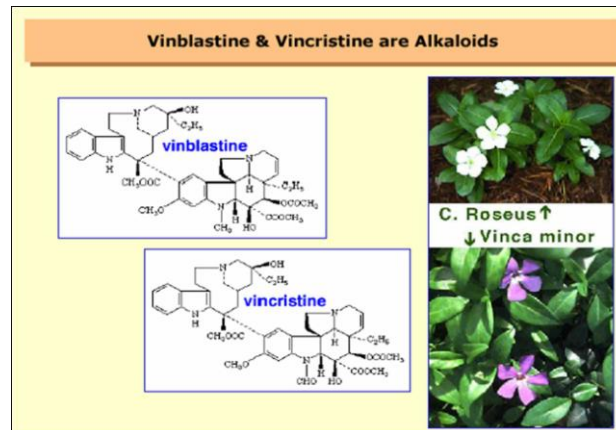
Dari gambar 7. diatas dapat dijelaskan lebih lanjut bahwa senyawa β-karoten, polifenol, dan flavonoid berasal dari beberapa jalur metabolisme. CO₂ dan H₂O merupakan komponen penting dalam proses fotosintesis, sehingga dihasilkan glukosa sebagai substrat metabolit sekunder. Taiz & Zeiger (2006) menjabarkan diagram pembentukan metabolit sekunder melalui berbagai macam jalur biosintesis, dimana terlihat jalur asam sikimat (*shikimic-acid pathway*), jalur asam malonat (*malonic-acid pathway*) dan jalur asam mevalonat (*mevalonic-acid pathway*).



Gambar 8. Jalur Biosintesis Senyawa Metabolit Sekunder (Taiz & Zeiger, 2006)

Jalur biosintesis asam sikimat dan asam malonat melibatkan asam amino aromatik, asam amino alifatik dan fenilpropanoid, dimana hasil akhirnya berupa lignin, flavonoid, isoflavonoid dan senyawa antioksidan. Untuk jalur biosintesis asam mevalonat, akan dibentuk senyawa golongan terpenoid, steroid dan saponin. Dewick (2002) menambahkan jalur biosintesis alkaloid yang mengandung struktur nitrogen pembentuk asam amino.

Sebagai contoh adanya kandungan fitokimia pada tumbuhan, Valluri (2009) dalam percobaannya menemukan struktur kimia *vinblastine* dan *vincristine* pada tumbuhan tapak dara (*Catharanthus roseus*). Kedua senyawa ini termasuk dalam golongan metabolit sekunder alkaloid dan berpotensi sebagai obat antikanker.



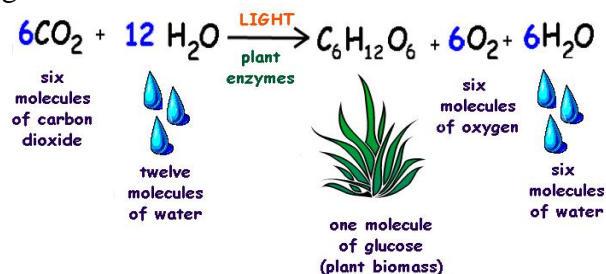
Gambar 9. Struktur kimiawi Vinblastin dan Vinkristin pada tapak dara (*Catharanthus roseus*) (Valluri, 2009)

PEMBAHASAN

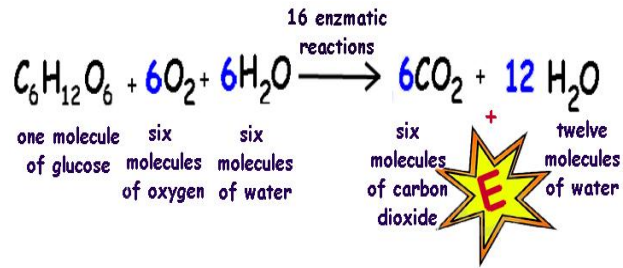
Kajian tentang metabolisme bahan alam (fitokimia) pada tumbuhan tidak dapat dilepaskan dari struktur anatomi dan proses fisiologinya. Struktur anatomi terkecil dari tumbuhan adalah sel, dimana sel memiliki vakuola untuk menyimpan cadangan makanan baik berupa senyawa primer maupun sekunder. Vakuola pada tumbuhan terletak ditengah sehingga dinamakan vakuola sentral dan bentuknya lebih besar daripada sel hewan. Semakin tua usia tumbuhan, maka vakuola dalam sel-selnya akan membesar dan semakin mendominasi sitoplasma disebabkan lebih banyaknya kandungan kimia yang disintesis tumbuhan tersebut.

Kandungan senyawa kimia yang disimpan dalam vakuola tersebut berasal dari proses fisiologi yang terjadi setiap hari, yaitu fotosintesis dan respirasi sel. Tumbuhan melakukan proses metabolisme primer melalui proses fotosintesis dan respirasi untuk memperoleh energi dan mempertahankan kelangsungan hidupnya. Fotosintesis dimulai dari masuknya H_2O dan hara mineral dari dalam tanah, selanjutnya dengan bantuan sinar matahari, kloroplas di daun dan enzim-enzim membantu terbentuknya CO_2 yang akan dilepaskan ke udara. Kemudian unsur CO_2 diproses untuk menghasilkan glukosa ($C_6H_{12}O_6$) yang akan digunakan untuk pertumbuhan tanaman dan sisanya disimpan sebagai cadangan makanan. Glukosa yang terbentuk akan masuk dalam reaksi respirasi sel meliputi glikolisis, dekarboksilasi oksidatif dan transport elektron untuk membentuk CO_2 dan ATP (Bidlack & Jansky, 2011).

Heldt (2005) menjelaskan reaksi kimia dari proses fotosintesis dan respirasi pada gambar 10 dan 11 sebagai berikut.



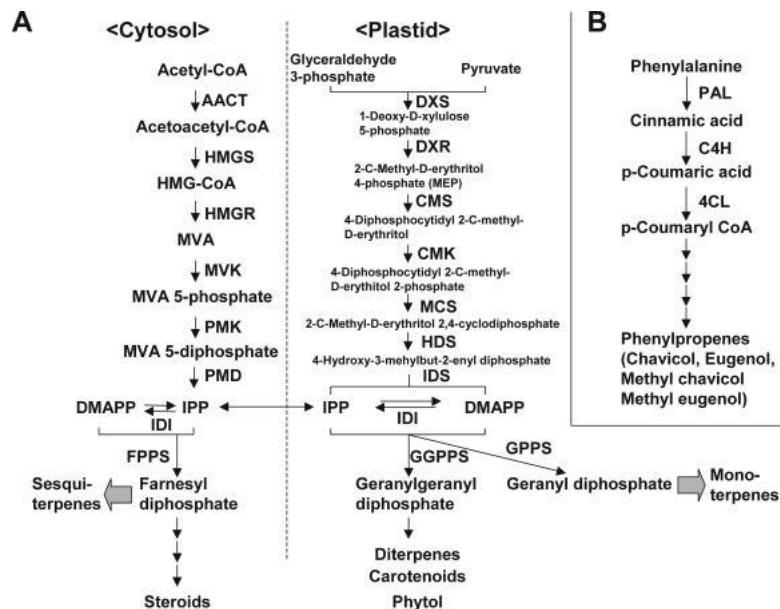
Gambar 10. Reaksi Kimia Fotosintesis



Gambar 11. Reaksi Kimia Respirasi Sel

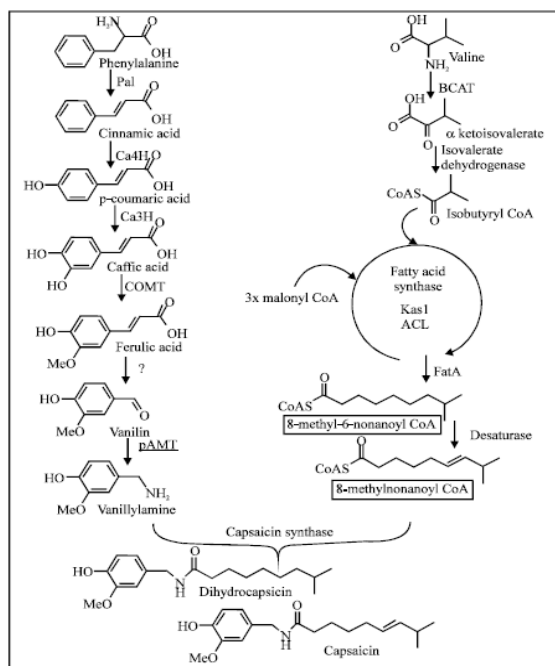
Pada gambar 8. telah dijelaskan bahwa H₂O dan CO₂ yang terlibat dalam proses fotosintesis akan menghasilkan produk metabolit primer seperti glukosa (karbohidrat), lipid, protein dan asam nukleat. Pemahaman tentang proses biosintesis metabolit primer akan memudahkan dalam menganalisis terbentuknya metabolit sekunder.

Iijima *et al.* (2004) mencontohkan jalur biosintesis asam mevalonat yang menurunkan senyawa metabolit terpenoid. Jalur ini berlangsung pada kompartemen sel yang berbeda, yaitu melalui sitosol dan plastida. Berikut adalah gambar lokasi pembentukan senyawa tersebut.



Gambar 12. Tempat terbentuknya jenis-jenis terpenoid dalam sel. A). Melalui jalur asam mevalonat di sitosol dan DXP di plastida, B). Pembentukan senyawa fenilpropanoid melalui jalur asam sikimat (Iijima *et al.*, 2004).

Selain terpenoid, senyawa *Capsaicin* merupakan turunan alkaloid yang banyak ditemukan pada cabai, merica dan bahan lain dengan citarasa pedas. Senyawa kimia ini juga banyak digunakan pada obat yang menghasilkan sensasi panas. Kumar *et al.* (2011) dalam penelitiannya menemukan bahwa senyawa capsaicin disintesis dari asam lemak, metabolisme fenilpropanoid serta mengandung gugus cincin aromatik. Gambar 13 berikut menunjukkan jalur biosintesis capsaicin.



Gambar 13. Jalur Biosintesis Capsaicin

KESIMPULAN

Kajian senyawa fitokimia akan berhubungan dengan sintesis senyawa obat, dimana untuk menganalisis kandungannya diperlukan jalur biosintesis. Jalur biosintesis senyawa fitokimia sebagian besar berlangsung di organel sel yaitu vakuola. Vakuola pada sel tumbuhan disebut vakuola sentral dan berfungsi sebagai tempat penyimpanan cadangan makanan, baik yang berupa metabolit primer maupun sekunder. Kajian tentang vakuola sel berhubungan dengan struktur dan fisiologis tumbuhan tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. *Primary and Secondary Metabolites*. <http://www.Plantscience4u.com/2013/02/secondary-metabolites>. Dikunjungi 1 Maret 2015.
- Anonim. *Connecting Cellular Respiration and Photosynthesis*. <http://www.ck12.org/life-science/connecting-cellular-Respiration-and-photosynthesis/>. Dikunjungi 1 Maret 2015.
- Anonim, 2013. *Facts on Plant Cell*. <http://www.plantcell.us/>. Dikunjungi 2 Maret 2015.
- Bidlack, J. E. & Jansky, S. H. 2011. *Stern's Introductory Plant Biology*. 12th ed. McGraw-Hill Companies, Inc.
- Campbell, N. A., Reece, J. B. & Mitchell, L. G. 2003. *Biologi* (terj. Wasmen Manalu). Edisi 5. Erlangga, Jakarta.
- Davidson. 2013. *Plant Cell Vacuoles*. <http://micro.magnet.fsu.edu/cells/plants/vacuole.html>. Dikunjungi 7 Maret 2015.
- Dewick, P. M. 2002. *Medicinal Natural Product, A Biosynthetic Approach*. 2nd ed. John Willey & Sons, LTD.
- Esau, K. 1977. *Anatomy of Seed Plants*. 2nd ed. John Willey and Sons, Inc., USA.
- Fahn, A. 1991. *Anatomi Tumbuhan* (terj. Ahmad Soediartha dkk.) Edisi ke-3. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Heldt, H. 2005. *Plant Biochemistry*. 3rd ed. Elsevier, Inc. UK.
- Hidayat, E. B. 1995. *Anatomi Tumbuhan Berbiji*. Edisi 1. Penerbit ITB, Bandung.

- Iijima, Y., Davidovich-Rikanati, R., Fridman, E., Gang, D. R., Bar, E., Lewinsohn, E. & Pichersky, E. 2004. The Biochemical and Molecular Basis for the Divergent Patterns in The Biosynthesis of Terpenes and Phenylpropenes in The Peltate Glands of Three Cultivars of Basil. *J. Plant. Physiol.* Vol. 136, No. 3, pp. 3724.
- Kumar, R., Dwivedi, N., Singh, R.K, Kumar, S., Rai, V.P & Singh, M. 2011. A Review on Molecular Characterization of Pepper for Capsaicin and Oleoresin. *Int. J. Plant. Breed. Genet.* Vol. 5 (2): 102-103.
- Lakitan, B. 2008. *Dasar-dasar Fisiologi Tumbuhan*. Edisi 1. Penerbit PT. Raja Grafindo Persada, Jakarta.
- Marty, F. 1999. Plant Vacuoles. *The Plant Cell*, Vol. 11: 587-589.
- Matthew. *Themes in The Study of Life*. <http://www.slideshare.net/veneethmathew/01-lecture-presentation-43264439>. Dikunjungi 7 Maret 2015.
- Nugroho, H., Purnomo & Sumardi, I. 2006. *Struktur dan Perkembangan Tumbuhan*. Edisi ke-1. Penerbit Penebar Swadaya, Jakarta.
- Rosanti, D. 2013. *Morfologi Tumbuhan*. Edisi ke-1. Penerbit Erlangga Jakarta.
- Starr, C., Taggart, R., Evers, C. & Starr, L. 2012. *Biologi: Kesatuan dan Keragaman Makhluk Hidup* (terj. Yenny Prasaja). Edisi 12. Penerbit Salemba Teknika, Jakarta.
- Taiz, L. & Zeiger, E. 2006. *Plant Physiology*. 4th ed. Sinauer Associates, Inc.
- Valluri. 2009. *Production of Medicinal Plant Compounds in a Microgravity-based Hydrodynamic Focusing Bioreactor (HFB)*. <http://www.Science.marshall.edu/valluri/HFB.htm>. Dikunjungi 2 Maret 2015.