



Forum Peneliti Muda Indonesia

Bunga Rampai ForMIND 2018



Bunga Rampai
ForMIND
2018



Gedung Perpustakaan Pusat ITB
Lantai Basemen, Jl. Ganesa No. 10
Bandung 40132, Jawa Barat
Telp. 022 2504257. Fax. 022 2534155
e-mail : office@itbpress.itb.ac.id
web : www.itbpress.itb.ac.id
Anggota Ikapi No. 043/JBA (1) dan APPTI



TAHUN ITB
&
Pendidikan Tinggi Teknik
di Indonesia

Siapa saja untuk penemuan dan inovasi

ISBN 978-602-0705-19-4



Bunga Rampai
Forum Peneliti Muda Indonesia

2018



Hak cipta © pada penulis dan dilindungi Undang-undang
Hak penerbitan pada ITB Press

Dilarang mengutip sebagian ataupun seluruh buku ini dalam bentuk apa pun tanpa izin dari penulis dan penerbit.

Bunga Rampai Forum Peneliti Muda Indonesia 2018

Penulis : Forum Peneliti Muda Indonesia
Penyunting Utama : Ketut Wikantika
Penyunting : Adelina Nur Afiani
Dina Noviana Rahmawati
I Gede Dalem Elang Erlangga
Jeremy Linggom Panjaitan
Sonia Fatima Devy Koesyani
Penelaah Makalah : Ketut Wikantika
Fenny M. Dwivany
Deni Suwardhi
Lissa Fajri Yayusman
Pewajah Sampul : Tombayu Amadeo Hidayat

KATALOG DALAM TERBITAN (KDT)

Bunga Rampai Forum Peneliti Muda Indonesia 2018 / Forum Peneliti Muda Indonesia;

Ketut Wikantika (peny.).—Ed.1.—Cet.1.—Bandung:
ITB Press, 2018
(viii, 314 hlm.); 17,6 x 25 cm

ISBN: 978r6o2ro7o5r19rç



**ITB
Press**

Gedung Perpustakaan Pusat ITB
Lantai Basemen, Jl. Ganesa No. 10
Bandung 40132, Jawa Barat
Telp. 022 2504257. Fax. 022 2534155
e-mail : office@itbpress.itb.ac.id
web : www.itbpress.itb.ac.id
Anggota Ikapi No. 043/JBA (1) dan APPTI

Kata Pengantar

Setiap tanggal 28 Oktober, dalam rangkaian memperingati Hari Sumpah Pemuda, Forum Peneliti Muda Indonesia (ForMIND) melaksanakan kegiatan konferensi tahunannya. Tahun ini, tuan rumah kegiatan konferensi bertempat di Osaka University, Jepang dan seperti biasa menerbitkan Buku Bunga Rampai ForMIND 2018.

Buku Bunga Rampai ForMIND merupakan kumpulan artikel ilmiah, semi-ilmiah dan populer-ilmiah dari berbagai disiplin ilmu yang disusun sedemikian rupa sehingga dapat memberikan gambaran yang jelas secara ilmiah, serta dapat memberikan ilustrasi tentang suatu keilmuan sehingga dapat dengan mudah dimengerti oleh tidak hanya bagi anggota ForMIND saja tetapi masyarakat umum. Buku ini akan menjadi sumber referensi alternatif terkait perkembangan ilmu dan teknologi serta status penerapannya di Indonesia. Untuk penerbitan tahun 2018 ini kontribusi penulis dari berbagai lembaga dan perguruan tinggi semakin beragam yang berasal dari dalam dan luar negeri. Para penulis berasal dari lembaga riset seperti PT. Bio Farma (Persero), *Banana Group ITB*, *Bali International Research Center for Banana*, Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia, Balai Pengkajian Teknologi Pertanian (BPTP) Jambi, Dinas Pariwisata Provinsi Maluku serta perguruan tinggi selain ITB yaitu Universitas Indonesia, Universitas Islam Indonesia, Universitas Yarsi, Universitas Nahdlatul Ulama Indonesia, Universitas Bina Nusantara, Universitas Jember, Universitas Andalas, Universitas Budi Luhur, Universitas Brawijaya, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jakarta, Universitas Airlangga dan Universitas Diponegoro. Sedangkan dari luar negeri adalah *Osaka University* (Jepang), *Nara Institute of Science and Technology* (Jepang) dan *University of College London*.

Kami ucapkan terimakasih banyak kepada semua para kontributor atas makalahnya, para *reviewer*, dan para editor sehingga Buku Bunga Rampai ForMIND dapat diterbitkan. Sekali lagi kami mengundang partisipasi rekan-rekan semua, para peneliti untuk menyumbangkan makalahnya pada penerbitan Buku Bunga Rampai tahun berikutnya. Semoga buku ini memberi manfaat kepada para insan peneliti, pendidik, praktisi, pemerintah, lembaga lain serta industri khususnya yang ada di Indonesia.

Bandung, 28 Oktober 2018



Ketut Wikantika

Editor Utama

Daftar Isi

Review Article

Keterbatasan HAM: Sebuah Disonansi dalam Universalisme HAM, Kasus Sekolah Negeri Jakarta.....	1
<i>Family According to William J. Goode and Soerjono Soekanto</i>	19
Strategi Pemberdayaan Masyarakat Penghayat Kepercayaan terhadap Tuhan Yang Maha Esa	34
Fenomena Anak dalam Lingkaran Prositusi Online di Dunia Maya.....	46
Pentingnya Pengembangan Insulin di Indonesia.....	67
Metabolomik Mikrobiologi	77
Aplikasi Pendekatan Metabolomik untuk Ilmu Pematangan Buah.....	87
Aplikasi Senyawa Fotokatalis untuk Memperpanjang Umur Buah	99
Studi Regulasi dan Ekspresi Gen pada Proses Embriogenesis Somatik Kakao (<i>Theobroma cacao</i> L.).....	105

Research Article

Pengembangan Komunikasi Pemasaran Pariwisata Maluku Untuk Peningkatan Kunjungan Wisatawan Nusantara.....	117
Aplikasi <i>Support Vector Machine</i> Pada Data Transkriptomik Jagung	130
Hubungan antara Alel Human Leucocyte Antigen (HLA) B dan Hipersensitivitas Terhadap Obat.....	142
Identifikasi Isolat Jamur <i>Fusarium oxysporum</i> f.sp <i>cubense</i> Tropical Race 4 (Foc TR4) dari Sampel Tanaman Pisang Sakit di Bali	154
Medium Interaksi dalam Studi Ketahanan Pisang terhadap Infeksi <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>Cubense</i>	162
Rekayasa <i>Sucrose Phosphate Synthase</i> Untuk Meningkatkan Sukrosa Sebagai Sumber Karbon dan Energi Bagi Pertumbuhan Tanaman.....	173
Metode <i>Site-Directed Mutagenesis</i> dalam Pengembangan Biologi Molekuler dan Bioteknologi.....	181
Model Pengembangan Pertanian Perdesaan Melalui Inovasi (M-P3mi)	



Berbasis Tanaman Padi Pada Agroekosistem Sawah Irigasi Provinsi Jambi	192
Penyelesaian Alokasi Emisi CO ₂ Dalam Proses Pengolahan Minyak Bumi Dengan <i>Fuzzy Linear Programming</i>	215
Pengembangan Model <i>Virtual Heritage</i> Legenda Candi Prambanan Dalam Perlindungan Cerita Rakyat di Indonesia	232
Deteksi Area Lahan Terbakar dengan <i>Normalized Burned Ratio Thermal</i> (NBRT) dan Model Linier (Vegetasi, Air dan Suhu) untuk studi proses Suksesi Lahan.....	243
Analisis Morfologi Kawah Gunung Agung dan Tutupan Produk Vulkanik dengan Data Sentinel-1A.....	262
Pemodelan Lahar Erupsi Gunungapi Agung Menggunakan Data Sentinel 2 Serta Tiga Data DEM: TerraSAR-X, SRTM <i>1-Arc Second Global</i> , dan DTM Peta RBI skala 1:25.000	275
Analisis Termal Kawah Gunung Agung Dengan Data <i>Remote Sensing</i> ASTER TIR Multitemporal	289
Analisis Reflektansi Spektral dan Proses Pematangan Buah pada Pisang Cavendish	305
Analisis Fase Erupsi Gunung Agung 2017-2018 Berdasarkan Deformasi PLT D-InSAR dengan Data Sentinel-1A.....	319



Research Article

Rekayasa *Sucrose Phosphate Synthase* Untuk Meningkatkan Sukrosa Sebagai Sumber Karbon dan Energi Bagi Pertumbuhan Tanaman

Widhi Dyah Sawitri^{1,2}, Bambang Sugiharto^{1,2,3}

¹Laboratorium Bioteknologi dan Biologi Molekul, UPT. Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi (CDAST), Universitas Jember, Kampus Tegalboto,

Jember

²Prodi Magister Bioteknologi, Program Pascasarjana, Universitas Jember, Kampus Tegalboto, Jember

³Prodi Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jember, Kampus Tegalboto, Jember

email : ¹widhi.pasca@unej.ac.id, ²sugiharto.fmipa@unej.ac.id

Abstrak

Sukrosa sebagai senyawa hasil fotosintesis memiliki peran yang sangat penting untuk mengatur partisi karbon pada tanaman. *Sucrose phosphate synthase* (SPS; EC 2.4.1.14) merupakan enzim kunci yang mengkatalisis terbentuknya sukrosa pada tanaman. Beberapa referensi melaporkan bahwa overekspresi SPS meningkatkan sintesis sukrosa dan karbohidrat pada tanaman transgenik. Selain itu, sudah diketahui bahwa aktifitas SPS tanaman diregulasi oleh metabolit G6P. Melalui studi biokimia, telah diklarifikasi fungsi domain N-terminal SPS dari tanaman tebu. Analisis pada level struktur atom akan berguna dalam memecahkan regulasi pada SPS dan menjelaskan model regulasi alosterik yang tepat. Hal ini memunculkan suatu strategi untuk re-desain regulasi metabolisme sukrosa pada tanaman melalui rekayasa pada sisi katalitik enzim. Suatu tantangan yang muncul adalah belum pernah dilaporkan adanya struktur kristal SPS tanaman.

Kata kunci: sucrose phosphate synthase, enzim, partisi karbon, bioteknologi tanaman

Abstract

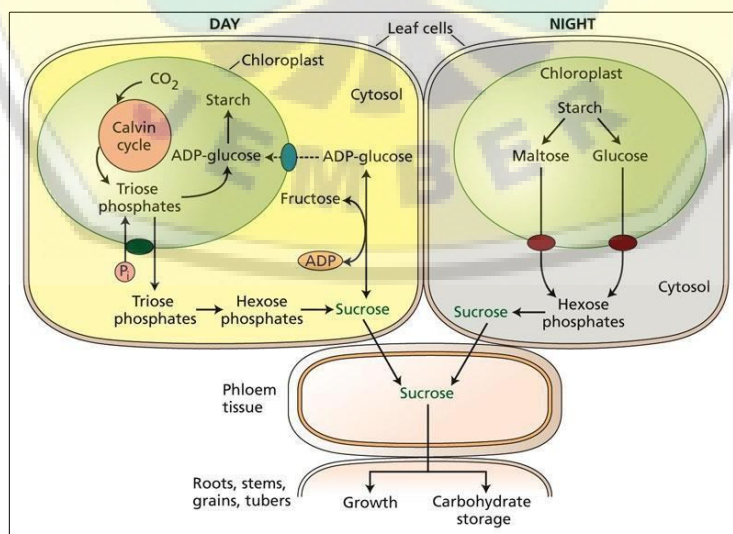
Sucrose occupies many essential roles to control regulation of carbon partitioning in plants. Sucrose phosphate synthase (SPS; EC 2.4.1.14) is a key enzyme to catalyze the form of sucrose in primary sucrose synthesis pathway. Several refere regarding overexpression of SPS and it revealed the enhancement of sucrose and starch synthesis in transgenic plants. In addition, it is well known that the activity of plant SPS

is modulated by metabolic effectors, such as G6P. Eventually, present biochemical studies have clarified the functional roles of the N-terminal region of sugarcane SPS. Atomic structural analysis may useful to provide an insight into molecular mechanism of SPS and elucidation of the precise model of the allostery. This led to the hypothesis that one of the strategies to redesign the regulation of plant sugar metabolism is through catalytic site engineering of plant SPS. This work is challenging since a crystal structure of plant SPS has not yet been obtained.

Keywords: Sucrose phosphate synthase, enzyme, carbon partitioning, plant biotechnology

1. PENDAHULUAN

Sebagian besar tanaman menggunakan sukrosa sebagai produk utama hasil fotosintesis. Sukrosa disintesis dari daun (*source tissue*) dan ditransportasi melalui floem menuju jaringan lain yang membutuhkan (*sink tissue*), termasuk organ penyimpanan pada tanaman. Sebagai bentuk karbohidrat yang lebih kompleks dari pada glukosa, sukrosa lebih sesuai sebagai karbon *mobile* yang dikirimkan ke seluruh bagian tanaman. Hal ini disebabkan glukosa merupakan jenis monosakarida yang bersifat lebih reaktif (gula reduksi) dan besar kemungkinan terjadi reaksi biokimia lain ketika proses transportasi berlangsung (Leloir dan Cardini, 1954). Selain sukrosa, pati (*starch*) juga termasuk bentuk karbohidrat yang efisien dalam menyimpan energi. Akan tetapi, pati memiliki karakter yang tidak larut dalam air (*insoluble*) sehingga sumber karbon ini tidak dapat ditransportasikan melalui floem. Umumnya hasil fotosintesis berupa pati akan disimpan di kloroplas pada siang hari dan akan dipecah menjadi bentuk monosakarida pada malam hari (Gambar 1). Hasil pemecahan karbohidrat akan digunakan kembali sebagai sumber substrat pada sintesis sukrosa (Smith, 2008; Taiz dan Zeiger, 2010). Oleh karenanya, peran sukrosa sangat penting pada tanaman utamanya sebagai metabolit yang *mobile* dan penyedia energi.

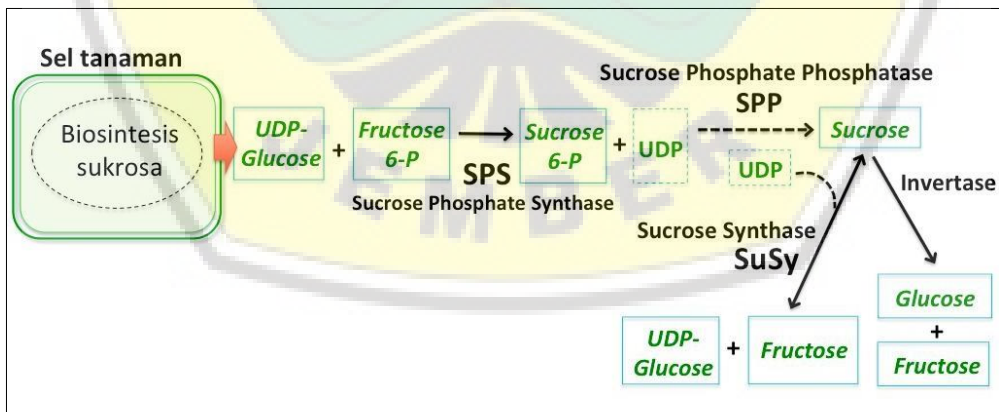


Gambar 1. Metabolisme sukrosa dan pati pada tanaman (Taiz dan Zeiger, 2010)

Banyak referensi menyatakan bahwa sukrosa menjadi metabolit penentu dalam mengatur alokasi sumber karbon pada tanaman. Salah satu faktor yang mempengaruhi partisi karbon adalah enzim-enzim yang berperan dalam proses metabolisme sukrosa, sehingga adanya perubahan biosintesis sukrosa dapat mempengaruhi proses biosintesis karbohidrat atau proses penyediaan karbon pada tanaman (Huber, 1983; Huber dan Huber, 1992; Sharkey, dkk., 2000).

2. PERAN SPS PADA BIOSINTESIS SUKROSA DAN REGULASINYA

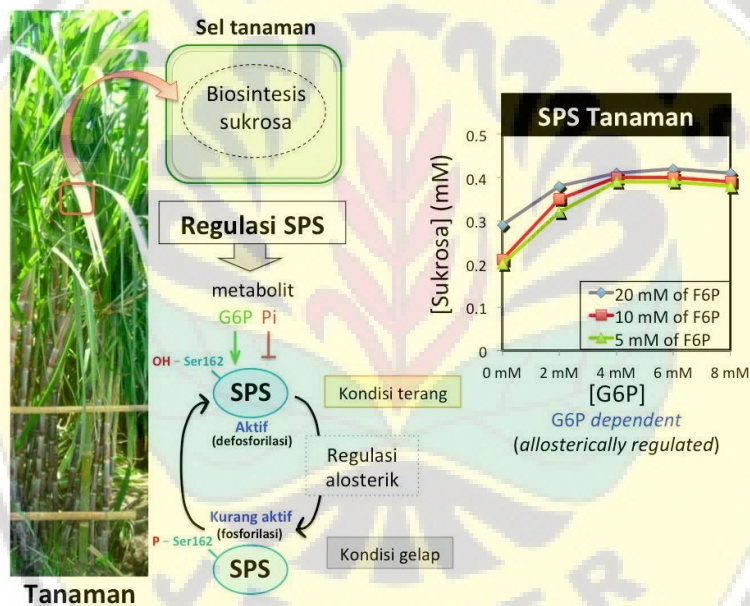
Beberapa enzim yang terlibat dan bertanggung jawab dalam biosintesis sukrosa dikelompokkan dalam *Sucrose Biosynthesis Related Protein* (SBRP), yaitu diantaranya *sucrose phosphate synthase* (SPS; EC 2.4.1.14), *sucrose synthase* (SuSy; EC 2.4.1.13), dan *sucrose phosphate phosphatase* (SPP; EC 3.1.3.24) (Salerno dan Curatti, 2003). SPS mengkatalisis proses pembentukan *sucrose-6-phosphate* (S6P) dari substrat *fructose-6-phosphate* (F6P) dan *uridine diphosphate glucose* (UDP-G). S6P selanjutnya dihidrolisis menjadi sukrosa oleh enzim SPP dan sukrosa kembali dipecah menjadi UDP-G dan Fruktosa oleh enzim SuSy (Gambar 2). Reaksi katalitik enzim SuSy merupakan reaksi bolak-balik (*reversible*) yaitu terlibat dalam sintesis dan pemecahan sukrosa. Meskipun SPS dan SuSy sering dibandingkan berdasarkan kemampuan enzim dalam mensintesis sukrosa, akan tetapi melalui studi biokimia membuktikan bahwa SuSy cenderung memecah sukrosa. Selain itu, telah diidentifikasi bahwa invertase (INV; EC 3.2.1.26) mempunyai peranan penting dalam proses degradasi sukrosa menjadi glukosa dan fruktosa. Pada Gambar 2 menunjukkan bahwa hanya SPS yang terlibat dalam reaksi pembentukan sukrosa dan tidak bersifat bolak-balik (*irreversible*). Hal ini membuktikan bahwa SPS adalah enzim kunci yang berperan dalam sintesis sukrosa (Huber dan Huber, 1996).



Gambar 2. Skema mekanisme biosintesis sukrosa pada sel tanaman

Walaupun SPS merupakan enzim kunci yang menentukan sintesis sukrosa pada tanaman, tetapi enzim ini diregulasi pada tingkat *post-translasi*. Regulasi enzim SPS

pada tanaman sangat kompleks dengan melibatkan regulasi alosterik, yaitu *glucose-6-phosphate* (G6P) sebagai aktifator dan *phosphate inorganic* (Pi) sebagai inhibitor (Doehlert dan Huber, 1983). Pada penelitian sebelumnya telah dibuktikan bahwa adanya G6P akan meningkatkan aktifitas SPS tanaman hingga konsentrasi maksimum 5 mM (Sawitri, dkk., 2016). Selain itu, SPS juga diregulasi oleh proses fosforilasi-defosforilasi pada residu serin posisi 162 (Ser162) pada jagung dan tebu (Takahashi, dkk., 2000; Sugiharto, dkk., 1997) dan serine posisi 158 (Ser158) pada tanaman bayam (Toroser, dkk., 1983). Adanya peningkatan konsentrasi metabolit G6P dan penurunan konsentrasi Pi pada tanaman yang terjadi pada siang hari (kondisi terang), maka secara bersamaan enzim SPS dalam kondisi ter-defosforilasi sehingga SPS menjadi lebih aktif. Sebaliknya ketika akumulasi G6P menurun pada malam hari (kondisi gelap) dan SPS dalam kondisi terfosforilasi, maka aktifitas SPS akan menurun (Gambar 3).



Gambar 3. Regulasi alosterik SPS tanaman yang teraktifasi oleh metabolit G6P

3. REKAYASA GENETIK ENZIM SPS

Beberapa studi melaporkan bahwa overekspresi gen penyandi SPS pada tanaman dapat meningkatkan sukrosa maupun karbohidrat. Hal ini dibuktikan dengan overekspresi SPS jagung pada tanaman tomat menunjukkan peningkatan sukrosa di daun tomat (Worrell, dkk., 1991). Selain itu, hasil overekspresi SPS dari *cyanobacteria* pada tanaman tembakau juga menunjukkan peningkatan aktifitas enzim SPS dan translokasi sukrosa (Lunn, dkk., 2003). Meningkatnya kualitas fiber kapas melalui overekspresi SPS jagung (Haighler, dkk., 2007) membuktikan bahwa regulasi SPS berpengaruh pada sintesis karbohidrat.

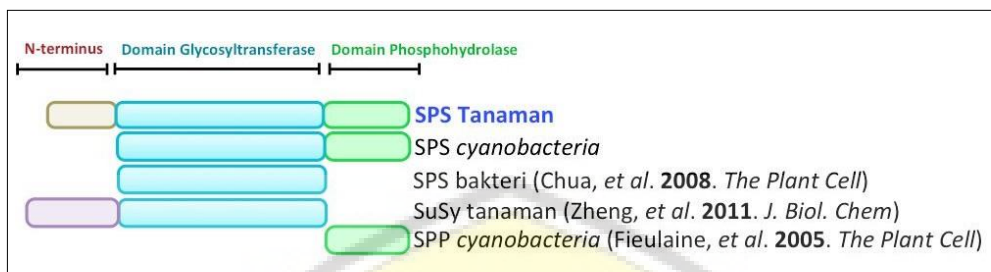
Untuk memahami peran SPS pada tanaman, telah dilakukan isolasi dua jenis gen penyandi SPS pada tanaman tebu yaitu *SoSPS1* dan *SoSPS2*. Pada studi ini lebih fokus pada *SoSPS1* karena ekspresi *SoSPS1* ditemukan aktif di daun dan menjadi representatif enzim yang bertanggung jawab untuk fotosintesis serta alokasi karbon. Sedangkan *SoSPS2* belum dikarakterisasi dan diduga diekspresikan pada organ non-fotosintetik (Sugiharto, dkk., 1997). Selanjutnya, cDNA *SoSPS1* diekspresikan di bakteri *E. coli* dan *insect cell* sebagai rekombinan protein. Pada umumnya SPS tanaman memiliki berat molekul sebesar 120 kDa, sedangkan ekspresi rekombinan SPS tebu pada *E. coli* menunjukkan adanya penurunan berat molekul hingga sekitar 100 kDa dan hilangnya karakter alosterik terhadap metabolit G6P. Akan tetapi *full-length* SPS tanaman dengan ukuran 120 kDa dapat diekspresi secara rekombinan pada *insect cell*. Untuk menginvestigasi fenomena tersebut, telah dikonstruksi berbagai macam mutan SPS dan salah satunya adalah penghilangan domain N-terminal SPS tebu (Δ N-SPS). Melalui hasil analisis biokimia, telah ditemukan bahwa domain N-terminal memiliki peran mengatur regulasi metabolit G6P pada SPS tanaman. Hal ini dibuktikan dengan pemotongan domain N-terminal akan meningkatkan spesifik aktifitas SPS hingga 10 kali lipat. Sehingga dapat disimpulkan bahwa domain N-terminal SPS berfungsi sebagai penghambat (*suppressor*) pada aktifitas enzim. G6P dihipotesiskan berikatan dengan bagian N-terminal pada *full-length* SPS sehingga meningkatkan afinitas pengikatan substrat. Penurunan berat molekul rekombinan SPS hingga 100 kDa dimungkinkan karena adanya pemotongan proteolitik pada bagian SPS yang hanya terjadi ketika SPS diekspresikan pada sel prokariotik seperti *E. coli* (Sawitri, dkk., 2016). Diharapkan rekayasa enzim SPS dengan menghilangkan domain N-terminal dapat lebih bermanfaat dalam meningkatkan sukrosa dan pertumbuhan tanaman.

4. PENGEMBANGAN RISET BERBASIS NANOTEKNOLOGI PADA ENZIM SPS

Hingga saat ini, mekanisme katalik maupun regulasi alosterik SPS tanaman secara presisi masih belum jelas. Meskipun telah diketahui struktur protein tiga dimensi SPS bakteri non-fotosintetik melalui metode x-ray kristalografi (Chua, dkk., 2008), tetapi ada perbedaan struktur antara SPS tanaman dan SPS bakteri. Pada SPS bakteri non-fotosintetik, domain N-terminal dan C-terminal SPS tanaman tidak ada. Begitu pula pada organisme *cyanobacteria*, domain N-terminal SPS tanaman tidak ditemukan (Gambar 4). Oleh karena itu, memecahkan struktur protein tiga dimensi SPS tanaman sangat diperlukan untuk mempelajari regulasi SPS secara presisi.

Beberapa referensi melaporkan bahwa struktur SPS tanaman terdiri dari 3 jenis domain, yaitu domain N-terminal, domain sentral yang berhubungan dengan sisi pengikatan substrat, dan domain C-terminal. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa domain N-terminal berhubungan dengan alosterik regulasi. Sedangkan domain C-terminal dihipotesiskan mengandung domain *phosphohydrolase* tetapi fungsinya masih belum jelas. Hal menarik ada di domain sentral yang mengandung domain *glycosyltransferase*. Enzim-enzim yang terlibat dalam metabolisme sukrosa memiliki karakter yang sama yaitu memiliki homologi yang tinggi

pada domain *glycosyltransferase* (Gambar 4).



Gambar 4. Kesamaan struktur protein antara SPS tanaman, SPS bakteri, SPS cyanobacteria, SuSy, dan SPP

Berdasarkan homologi sekuens protein tersebut, telah diidentifikasi beberapa residu yang berperan penting dalam katalitik enzim dengan metode *site-directed mutagenesis* (Sawitri, dkk., 2018). Dengan adanya informasi sisi aktif dan katalitik enzim, maka interaksi atom antara substrat dan enzim dapat diketahui. Seperti pada SuSy, asam amino yang bertanggung jawab dalam pengikatan substrat UDP-G telah teridentifikasi melalui metode x-ray kristalografi (Zheng, dkk., 2011). Hal ini dapat memunculkan ide untuk dilakukan re-desain enzim melalui rekayasa bukan hanya pada tataran genetik, melainkan pada tataran nanoteknologi yaitu rekayasa struktur protein. Dengan rekayasa tersebut, kajian SPS dalam mengontrol partisi karbon juga dapat dipelajari. Mekanisme pengikatan substrat pada level atomik sangat diperlukan sebagai informasi selanjutnya ketika akan melakukan rekayasa proteomik. Adanya pemanfaatan energi yang lebih efisien dalam proses partisi karbon, maka dihipotesiskan akan terjadi peningkatan sintesis sukrosa dan partisi karbon sebagai sumber karbon dan energi, sehingga dapat meningkatkan pertumbuhan dan produktivitas tanaman.

5. KESIMPULAN

Sesuai dengan uraian artikel di atas, telah diketahui bahwa SPS merupakan enzim kunci dalam sintesis sukrosa, yaitu mengkatalisis UDP-G dan F6P menjadi S6P. Banyak referensi yang melakukan rekayasa genetik dengan overekspresi gen penyandi SPS pada tanaman, sehingga meningkatkan aktifitas enzim, sintesis sukrosa, serta pertumbuhan dan hasil tanaman. Hal ini membuktikan bahwa SPS terlibat dalam proses penyedia energi dan alokasi sumber karbon pada tanaman. Oleh karenanya, perlu kajian lebih lanjut pada level nanoteknologi mengenai mekanisme katalitik enzim secara detil dan regulasi SPS dalam partisi karbon.

DAFTAR REFERENSI

Chua, T.K., Bujnicki, J.M., Tan, T.C., Huynh, F., dan Patel, B.K. 2008. The structure of sucrose phosphate synthase from *Haloferox volcanii* reveals its mechanism of ac-

tion and binding mode. *Plant Cell*. Vol. 20: hal. 1059-1072

- Doehlert, D.C. dan Huber, S.C. 1983. Regulation of spinach leaf sucrose phosphate synthase by glucose-6-phosphate, inorganic phosphate, and pH. *Plant Physiol*. Vol. 73: hal. 989-994
- Haighler, C.H., Singh, B., Zhang, D., Hwang, S., Wu, C., Cai, W.X., Hozain, M., Kang, W., Kiedaisch, B., Strauss, R.E., Hequet, E.F., Wyatt, B.G., Jividen, G.M., dan Holaday, A.S. 2007. Transgenic cotton over-producing spinach sucrose phosphate synthase enhanced leaf sucrose synthesis and improved fiber quality under controlled environmental conditions. *Plant Mol. Bio*. Vol. 63: hal. 815-832
- Huber, S.C. 1983. Role of sucrose-phosphate synthase in partitioning of carbon in leaves. *Plant Physiol*. Vol. 71: hal. 818-821
- Huber, S.C. dan Huber, J.L. 1992. Role of sucrose-phosphate synthase in sucrose metabolism in leaves. *Plant Physiol*. Vol. 99: hal. 1275-1278
- Huber, S.C. dan Huber, J.L. 1996. Role and regulation of sucrose-phosphate synthase in higher plants. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol*. Vol. 47: hal. 431-444
- Leloir, L.F., dan Cardini, C.E. 1954. The biosynthesis of sucrose phosphate. *J. Biol. Chem*. Vol. 214: hal. 157-165
- Lunn, J.E., Gillespie, V.J., dan Furbank, R.T. 2003. Expression of a cyanobacterial sucrose-phosphate synthase from *Synechocystis* sp. PCC 6803 in transgenic plants. *J. Exp. Bot*. Vol. 381: hal. 223-237
- Salerno, G. L., dan Curatti, L. 2003. Origin of sucrose metabolism in higher plants: when, how and why?. *Trends Plant Sci*. Vol. 8: hal. 63-69
- Sawitri, W.D., Narita, H., Ishizaka-Ikeda, E., Sugiharto, B., Hase, T., Nakagawa, A. 2016. Purification and characterization of recombinant sugarcane sucrose phosphate synthase expressed in *E. coli* and insect Sf9 cells: an importance of the N-terminal domain for an allosteric regulatory property. *J. Biochem*. Vol. 159, No. 6: hal. 599-607
- Sawitri, W.D., Afidah, S.N., Nakagawa, A., Hase, T., dan Sugiharto, B. 2018. Identification of UDP-glucose binding site in glycosyltransferase domain of sucrose phosphate synthase from sugarcane (*Saccharum officinarum*) by structure-based site-directed mutagenesis. *Biophysical Reviews*. Vol. 10: hal. 293-298
- Sharkey, T.D., Laporte, M.M., dan Kruger, E.L. 2000. "Will increased photosynthetic efficiency lead to increased yield in rice?". Dalam J.E. Sheehy, P.L. Mitchell, dan B. Hardy (Ed.). *Redesigning Rice Photosynthesis to Increase Yield*. Los Banos: Elsevier Science B.V. hal. 73
- Sugiharto, B., Sakakibara, H., Sumadi, dan Sugiyama, T. 1997. Differential expression of two genes for sucrose-phosphate synthase in sugarcane: molecular cloning of the cDNAs and comparative analysis of gene expression. *Plant Cell Physiol*. Vol. 38, No. 8: hal. 961-965
- Taiz, L. dan Zeiger, E. 2010. *Plant Physiology*, third edition. Sinauer Associates. hal. 163
- Takahashi, S., Ono, K., Ugaki, M., Ishimaru, K., Aoki, N., dan Ohsugi, R. 2000. Ser162-Dependent Inactivation of Overproduced Sucrose-Phosphate Synthase Protein of Maize Leaf in Transgenic Rice Plants. *Plant Cell Physiol*. Vol. 41, No. 8: hal. 977-981

- Toroser, D., McMichael, R.Jr., Krause, K.P., Kurreck, J., Sonnewald, U., Stitt, M., Huber, S.C. 1999. Site-directed mutagenesis of serine 158 demonstrates its role in spinach leaf sucrose-phosphate synthase modulation. *Plant J.* Vol. 17, No. 4: hal. 407-413
- Worrell, A.C., Bruneau, J.M., Summerfelt, K., Boersig, M., dan Voelker, T.A. 1991. Expression of maize sucrose phosphate synthase in tomato alters leaf carbohydrate partitioning. *Plant Cell.* Vol. 3: hal. 1121-1130
- Zheng, Y., Anderson, S., Zhang, Y., dan Garavito, R.M. 2011. The structure of sucrose synthase-1 from *Arabidopsis thaliana* and its functional implications. *J. Biol. Chem.* Vol. 286: hal. 36108-36118

BIOGRAFI PENULIS

Widhi Dyah Sawitri, Ph.D



Widhi Dyah Sawitri adalah dosen di Prodi Magister Bioteknologi, Program Pascasarjana, Universitas Jember dan asisten profesor di Laboratorium Bioteknologi dan Biologi Molekul UPT. Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi (CDAST), Universitas Jember, dibawah supervisi Prof. Dr. Bambang Sugiharto. Riwayat pendidikan yang ditempuh adalah S1 Biologi, Universitas Airlangga; S2 di bidang *Agriculture*, Kyungpook National University, Korea Selatan; dan S3 mengambil fokus *supramolecular crystallography* di Institute for Protein Research, Osaka University, Jepang. Saat ini melakukan penelitian mengenai rekayasa proteomik pada enzim yang memiliki domain *glycosyltransferase*, utamanya adalah enzim SPS.

Prof. Dr. Bambang Sugiharto



Bambang Sugiharto adalah Guru Besar di bidang bioteknologi tanaman di Universitas Jember dan kepala Laboratorium Bioteknologi dan Biologi Molekul UPT. Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi (CDAST), Universitas Jember. Jenjang pendidikan yang ditempuh adalah S1 Pertanian Universitas Jember; S2 dan S3 di bidang *Plant Physiology*, Nagoya University, Jepang. Fokus penelitian saat ini adalah rekayasa genetik untuk meningkatkan produktivitas tebu dan merakit tebu yang resisten terhadap penyakit *Sugarcane Mosaic Virus (ScMV)*.