

Sinkronisasi *Source dan Sink* untuk Peningkatan Produktivitas Biji pada Tanaman Jarak Pagar *Source and Sink Synchronize to Improve Seed Productivity of Physic Nut*

Mastur

Balai Penelitian Tanaman Pemanis dan Serat
Jln. Raya Karangploso, km 4, Malang 65152
Tel./Fax. (0341) 491447/485121
Email: mastur002@yahoo.com

Diterima: 29 Desember 2014

disetujui: 10 April 2015

ABSTRAK

Saat ini dunia sedang menghadapi masalah penurunan cadangan minyak dan dampak lingkungannya. Jarak pagar (*Jatropha curcas* L.) merupakan sumber bahan baku biodiesel yang potensial. Pengembangan jarak pagar saat ini masih terbatas disebabkan usaha tani yang belum menguntungkan terutama disebabkan produktivitas tanaman rendah. Makalah dimaksudkan untuk membahas pendekatan *source* dan *sink* untuk peningkatan produktivitas tanaman jarak pagar. Strategi penelitian untuk meningkatkan produktivitas dilakukan dengan peningkatan produksi biologi (biomassa) dan ekonomi (biji dan minyak). Produktivitas dapat meningkat jika terjadi sinergi antara *source* dan *sink*. Peningkatan *source* dapat dilakukan dengan meningkatkan kemampuan tanaman dalam memanen energi cahaya melalui peningkatan produksi asimilat dengan peningkatan laju fotosintesis daun individual, perbaikan arsitektur kanopi, serta memperpanjang umur produktif daun terutama selama pembentukan biji. Perbaikan *sink* dapat dilakukan dengan meningkatkan proporsi bunga betina, meningkatkan proporsi buah jadi, serta meningkatkan laju dan lama pembentukan biji melalui dukungan *source*. Perbaikan *source* dan *sink* tersebut dilakukan melalui pemilihan genotipe tanaman dengan sifat-sifat *source* dan *sink* optimal untuk dijadikan bahan perakitan varietas. Perbaikan teknologi budi daya dapat dilakukan dengan pengaturan jarak tanam yang tepat, pemangkasan, pemupukan, pengairan, dan penggunaan ZPT yang tepat baik untuk mendukung kanopi yang produktif sebagai pemasok asimilat, maupun untuk memperbesar kemampuan biji sebagai *sink* utama dalam memanfaatkan semaksimal mungkin pasokan asimilat untuk sintesis biji dan lemak. Dengan demikian, diharapkan diperoleh tanaman jarak pagar dengan produktivitas tinggi sebagai hasil dari produksi biomassa dan indeks panen tinggi.

Kata kunci: Jarak pagar, *Jatropha curcas* L., biomassa, *source*, *sink*

ABSTRACT

Nowadays, the world is facing problem of lowering petroleum fuel stocks and its environmental impact. Physic nuts (*Jatropha curcas* L.) is a plant that can be used as biodiesel feedstock. Extention problem of physic nuts cropping area and its role as biodiesel source is still limited due to low economical value and low productivity. This paper elucidates source and sink and their correlation to productivity based on research. Research strategies are directed to study increase biological yield (biomass) and economical yield (seed and oil content) of physic nut. The yield can be increased by synergizing between source and sink. Alleviating source could be done by increasing the ability of plant in increasing photosynthesis rate, arranging canopy architecture, and prolonging the age leaves especially during seed development. Sink process could be optimized through promoting number of female flower, number of seeds, and increasing seed initiation and development. The source and sink improvement can be implemented through genotype selection for breeding materials. Cultivation technology improvement can be conducted plant optimum spacing and population arrangement, pruning, fertilizing, water-

ing/irrigation, and plant growth regulator application to support productive canopy as assimilant supplier, and also enlarge seed capacity and strength as main sink through optimum use of assimilate for seed and lipid biosynthesis. Therefore, it will be achieved high productivity of physic nuts as a consequence of high biomass and high harvest index.

Keywords: Physic nuts, *Jatropha curcas* L., biomass, source, sink

PENDAHULUAN

Penggunaan bahan bakar minyak (BBM) saat ini menghadapi masalah penurunan cadangan, peningkatan emisi gas rumah kaca, dan fluktuasi harga tinggi dan tidak menentu akibat faktor politik internasional. Karena itu upaya mencari alternatif bahan bakar yang tersedia, berkelanjutan, dan rendah emisi banyak dilakukan. Biji jarak pagar merupakan salah satu bahan baku bahan bakar nabati (BBN) pengganti minyak diesel yang banyak diteliti. Jarak pagar merupakan tanaman perdu dari keluarga *Euphorbiaceae* berasal dari Meksiko dan Amerika tengah yang kini tersebar di daerah tropis maupun subtropis (Heller 1996). Mulyani *et al.* (2006) menyampaikan potensi lahan yang sesuai untuk jarak pagar di Indonesia mencapai 49,50 juta ha; meliputi 14,30 juta ha sangat sesuai (S1); 5,50 juta ha cukup sesuai (S2), dan 29,70 ha sesuai marjinal (S3). Optimisme pengembangan jarak pagar dekade lalu disebabkan oleh kemampuan adaptasi tanaman ini pada daerah marjinal terutama iklim kering dan tanah kurang subur.

Produktivitas jarak pagar pada awalnya diperkirakan cukup tinggi, hingga lebih dari lima ton (Djumali & Machfud 2009). Namun, pada kenyataannya varietas unggul yang dilepas hingga saat ini memiliki produktivitas lebih rendah jauh di bawah perkiraan sebelumnya (Hasnam 2011). Untuk memperoleh varietas unggul telah dilakukan eksplorasi, karakterisasi, seleksi, dan evaluasi di berbagai daerah di Indonesia. Studi terhadap 10 genotipe jarak pagar, disimpulkan bahwa karakter generatif umur mulai berbunga, jumlah tandah bunga, jumlah tandan

buah, dan tandan bunga jadi buah memiliki keragaman genetik luas dan heritabilitas tinggi sehingga dapat dimanfaatkan untuk pemuliaan (Hartati *et al.* 2009).

Jongschaap *et al.* (2007) berdasar studi dari berbagai negara hasil tertinggi dilaporkan di Uttar Pradesh (India) mencapai 3,2–4,1 ton/ha. Namun data tersebut tidak disertai komponen atau kondisi lingkungan pendukung. Yi *et al.* (2014) melaporkan varietas JO S2 mencapai produktivitas biji tertinggi (4,25 ton/ha) di Coimbatore (India Selatan), dibanding di Madurai (India Selatan) atau Singapura. Hasil varietas atau provenan lainnya di ketiga lokasi juga lebih rendah. Hasil jarak pagar relatif tinggi di Indonesia, antara lain dilaporkan oleh Santoso (2012) dengan menggunakan perlakuan pemangkasan. Dengan pemangkasan yang tepat diperoleh hasil biji tahun ketiga mencapai 2,573 ton/ha. Penggunaan varietas unggul, lingkungan (tanah dan iklim), dan teknik budi daya yang tepat memiliki peran penting dalam mencapai produktivitas tinggi.

Salah satu pendekatan fisiologis untuk peningkatan produktivitas tanaman adalah menggunakan konsep *source* dan *sink*. *Source* merupakan organ atau jaringan penghasil atau peng ekspor fotosintat, sedangkan *sink* adalah pengimpor atau penerima fotosintat. *Source* utama jarak pagar adalah daun, sedangkan *sink* utama jarak pagar adalah biji. Tulisan ini membahas upaya peningkatan produktivitas jarak pagar melalui sinkronisasi *source* dan *sink*. Pendekatan ini sangat penting baik untuk mendukung pengembangan ideotipe dalam pemuliaan maupun perakitan teknologi budi daya.

PRODUKSI TANAMAN JARAK PAGAR

Untuk mencapai keekonomian usaha tani jarak pagar salah satu upaya penting dari segi penelitian tanaman yang perlu dilakukan adalah menghasilkan varietas unggul baru dengan produktivitas tinggi dan teknologi pendukungnya. Menurut Syakir (2010) masalah pengembangan jarak pagar antara lain: 1) komponen teknologi varietas dan pendukungnya masih belum optimal, 2) penerapan teknologi dan harga keekonomian jarak pagar masih terbatas, 3) kelembagaan tani dan pemasaran belum jelas, serta 4) belum adanya koordinasi dan sinergi antarkelembagaan terkait. Produktivitas jarak pagar yang rendah di tingkat petani antara lain disebabkan oleh penanaman di bawah naungan, kekurangan atau kelebihan curah hujan, keterbatasan hara, dan nisbah bunga jantan dan betina tidak optimal (Hasnam 2011). Berikut diuraikan tentang faktor yang mempengaruhi produktivitas tanaman dan status produktivitas tanaman jarak pagar saat ini.

Produktivitas Tanaman

Potensi produksi tanaman, dapat ditingkatkan dengan cara peningkatan potensi produksi biologi (biomassa), dan kemampuan mengkonversi menjadi hasil ekonomis. Peningkatan produksi biologis menjadi dasar bagi konversi ke bentuk hasil ekonomis seperti biji, buah, umbi, serat, atau daun. Hasil ekonomi atau hasil utama jarak pagar adalah biji, kemudian diambil minyaknya, untuk diolah menjadi biodiesel.

Peluang peningkatan pendapatan tambahan dapat diperoleh dari pengolahan limbahnya. Pertanian bioindustri jarak pagar dapat dilakukan dengan pemanfaatan limbah secara *in situ* dan pengembangan diversifikasi produk sehingga dapat memaksimalkan biomassa (hasil biologis) dan biji sebagai hasil utama (hasil ekonomis) untuk peningkatan pendapatan dan kelestarian sumber daya lahan. Produksi biomassa tanaman

dimulai ketika pertanaman mengintersepsi cahaya yang sampai, dilanjutkan proses fotosintesis yang berlangsung di daun atau organ berklorofil lainnya. Kemampuan fotosintesis individu daun ditentukan oleh sifat fisiologi inherent daun, bentuk, luas, distribusi, sudut, umur, dan pola penyebaran dalam membentuk kanopi. Kanopi daun terbentuk sebagai hasil interaksi dari faktor genetik, lingkungan. Modifikasi kanopi daun dapat dilakukan melalui pemangkasan. Faktor fisiologis yang mempengaruhi produktivitas tanaman antara lain aktivitas fotosintesis, partisi dan translokasi fotosintat, serta biosintesis produk (Scully & Wallace 1990).

Produktivitas tanaman dalam hamparan berbeda dengan produktivitas secara individual. Produktivitas tanaman dalam hamparan ditentukan oleh jarak (dan konfigurasi) tanam. Produktivitas tanaman berbanding lurus dengan produksi biomassa dan indeks panen (Sharma-Natu & Ghildiyal 2005). Selanjutnya Zhu *et al.* (2010) menemukan hubungan antara produktivitas tanaman (Y) dengan energi radiasi total yang di areal pertanaman (St), efisiensi intersepsi cahaya ($\cdot i$), efisiensi konversi ($\cdot c$), dan indeks panen atau efisiensi partisi ($\cdot p$), dinyatakan dalam formula:

$$Y = 0,487 \cdot St \cdot c \cdot i \cdot p$$

Hubungan tersebut menunjukkan bahwa hasil tanaman selain ditentukan oleh kemampuan tanaman beradaptasi pada lingkungan, juga ditentukan oleh kemampuan memanfaatkan cahaya dalam proses fotosintesis dan kemampuan penimbunan asimilat dan biokonversi ke hasil ekonomi (Scully & Wallace 1990).

Produktivitas tanaman selain ditentukan oleh kemampuan produksi biologis (biomassa) juga ditentukan oleh kemampuan tanaman dalam biosintesis produk utama. Gambaran umum kemampuan tersebut dinyatakan dalam indeks panen. Umumnya tanaman penghasil minyak memiliki indeks panen lebih rendah dibanding tanaman penghasil karbohidrat (Tanaka 1983). Nilai lebih rendah tersebut disebabkan oleh ke-

butuhan energi yang lebih besar dalam biosintesis lemak. Tanaman minyak nabati dalam biosintesisnya membutuhkan rantai lebih panjang dan membutuhkan energi lebih banyak dibanding tanaman berkarbohidrat (Vertreten & de Vries 1987; Yang *et al.* 2010). Untuk memproses 100 g minyak dibutuhkan 318,9 g glukosa; sedangkan untuk membentuk 100 g protein dibutuhkan 188,7 g glukosa; dan untuk membentuk 100 g pati hanya dibutuhkan 127,5 g glukosa (de Vries *et al.* 1989). Karena itu, indeks panen produk berkarbohidrat umumnya lebih rendah dibanding dalam bentuk protein atau minyak. Bahan bakar nabati biodiesel diperoleh dari pengolahan (transesterifikasi) minyak dari tanaman, sedangkan bahan bakar nabati bioetanol diperoleh dari tanaman penghasil karbohidrat baik berupa pati maupun gula. Karena itu secara biologis, efisiensi biologis untuk produksi BBN bioetanol lebih tinggi dibanding BBN biodiesel.

Produktivitas Tanaman Jarak Pagar

Produktivitas tanaman jarak pagar saat ini bila dibandingkan dengan tanaman minyak nabati lain masih relatif rendah. Yang *et al.* (2010) melaporkan bahwa tanaman minyak nabati seperti kanola, kedelai, dan sawit masing-masing menghasilkan minyak 975, 620, dan 3.850 kg minyak/ha, sedangkan pada jarak pagar hanya diperoleh hasil 696 kg minyak/ha atau setara 1.445 kg biji/ha. Adapun hasil penelitian Djumali *et al.* (2012) di lahan kering berpasir memperlihatkan bahwa tanaman jarak pagar provenan IP-3A pada umur 1, 2, 3, dan 4 tahun berproduktivitas masing-masing sebesar 687, 1.025, 1.445, dan 1.800 kg biji/ha. Demikian pula hasil penelitian Santoso *et al.* (2008) di lahan kering Lombok Barat memperlihatkan produktivitas tanaman jarak pagar umur 1 tahun sebesar 750 kg biji/ha. Kanola dan kedelai adalah tanaman semusim, sedangkan jarak pagar dan sawit tanaman tahunan. Dengan memperhitungkan umur produksi maka produktivitas jarak pagar

tiap satuan waktu relatif lebih rendah dibanding tanaman sejenis.

Produktivitas aktual jarak pagar yang dianggap paling tinggi hingga saat ini 4,25 ton/ha yang dihasilkan oleh varietas JO S2 yang diperoleh dari seleksi konvensional (Yi *et al.* 2014). Faktor pendukung produksi tinggi pada pertanaman tersebut merupakan hasil interaksi positif antara faktor genetik dan lingkungan. Penelitian tersebut mengungkapkan bahwa hasil jarak pagar di Tamil Nadu, India lebih tinggi dibanding hasil jarak pagar di Singapura, sebagai hasil perbedaan tipe tanah dan agroklimat. Perbedaan lingkungan pertanaman antara Singapura dan Tamil Nadu antara lain curah hujan 2.500 dan 600–800 mm/tahun, distribusi hujan: merata dan iklim muson, tanah: liat, masam, dan lempung berpasir alkalin. Pada tahun kedua, produktivitas masing-masing 2,47 ton/ha dan 4,25 ton/ha. Penelitian tersebut menyimpulkan bahwa varietas unggul JO S2 memberikan hasil tinggi pada kondisi curah hujan rendah, iklim muson, tanah bertekstur lempung, dan reaksi tanah alkalin.

Hasil penelitian Djumali *et al.* (2012) di lahan kering berpasir memperlihatkan produksi bahan kering provenan IP-3A pada umur 1–4 tahun berkisar 2,42–8,13 ton/ha dengan indeks panen berkisar 0,16–0,22. Sebaliknya, hasil penelitian Gedoan *et al.* (2011) di lahan bekas tambang timah di Bangka juga memperlihatkan produksi bahan kering jarak pagar umur 1 tahun hanya sebesar 0,8 ton/ha dengan indeks panen sebesar 0,19. Indeks panen jarak pagar hasil penelitian di luar negeri berdasar biji 0,35 kg/kg, berat minyak 0,09 kg/kg, dan volume minyak 0,10 liter/kg. Karena itu, strategi peningkatan potensi produktivitas jarak pagar selain melalui peningkatan produksi biomassa, juga masih sangat luas peluangnya melalui peningkatan indeks panen. Peningkatan potensi hasil beberapa sereal dapat diperoleh dari pemuliaan melalui dua komponen tersebut (Natr & Lawlor 2005; Sylvester-Bradley *et al.* 2002). Sejarah

kenaikan indeks panen tanaman sereal menunjukkan bahwa pada awal abad 20 indeks panen masih sekitar 0,3, dan selanjutnya melalui pemuliaan mengalami peningkatan hingga kini mencapai 0,6. Keberhasilan tersebut dapat menjadi pelajaran untuk dapat diadopsi pada hasil jarak pagar dengan tetap mempertimbangkan karakter tanaman jarak pagar.

Komponen Pendukung Produktivitas Biji

Produktivitas suatu tanaman sangat berkaitan dengan komponen pertumbuhan dan hasil. Hasil penelitian Yi *et al.* (2014) merupakan informasi penting yang bermanfaat dalam mengkaji komponen pendukung varietas potensial, dalam hal ini JO S2 dan pembandingnya. Sebagai varietas dengan potensi produksi tinggi, bila dibandingkan dengan provenan lain yaitu dari India, Indonesia, Filipina, Afrika, China, ternyata varietas JO S2 memiliki kanopi paling lebar, jumlah cabang paling banyak, dan perbandingan bunga jantan dan betina paling rendah (Tabel 1). Hasil biji dan minyak berkaitan dengan jumlah bunga, buah, dan hasil biji per tanaman le-

bih tinggi. Namun, kaitannya dengan jumlah cabang kedua dan ketiga, bobot 100 biji, dan kadar minyak dalam biji tidak terlihat.

Hasil penelitian dengan menggunakan beberapa provenan dari berbagai daerah di Indonesia, PT-13 Lampung menghasilkan jumlah buah/tanaman tertinggi (598), sedangkan jumlah tandan/tanaman cukup tinggi diperoleh dari HS-49/NTT (Sudarmo & Djumali 2013). Peningkatan jumlah buah/tanaman memiliki korelasi positif terhadap hasil (Tabel 2). Dari 20 provenan yang diuji diperoleh tiga provenan unggul yaitu HS-49/NTT, NTB-3189, dan PT-7/Lampung. Ketiga provenan itu masing-masing memiliki jumlah tandan/tanaman, jumlah buah/tanaman, dan hasil biji tertinggi. Hasil biji ketiga provenan lebih tinggi dibanding provenan lainnya, yaitu masing-masing adalah 1.151, 1113, dan 1.065 kg/ha/tahun (Sudarmo *et al.* 2010). Hasil penelitian lainnya dari Sudarmo & Djumali (2013) menunjukkan korelasi positif antara hasil biji dengan jumlah tandan dan kapsul jarak pagar. Dari pengujian 27 provenan, provenan HS-48 NTT dan SM-100 NTB memiliki jumlah tan-

Tabel 1. Keragaan komponen pertumbuhan dan hasil varietas JO S2 dan lokal pada dua lokasi di India Selatan

Lokasi	Varietas	Umur	Tinggi tan (cm)	Kanopi (cm)	Cabang primer/tan	Tandan bunga/tan	Tandan buah/ tan	Hasil buah/ tan
Coimbatore	JO S2	1	203	190	3,9	166	103	801
Coimbatore	JO S2	2	229	213	5,5	224	175	1 252
Coimbatore	Lokal	1	278	222	3,5	103	36	269
Madurai	JO S2	1	-	204	4,2	159	118	1 003
Madurai	JO S2	2	238	246	4,2	304	241	872

Sumber: diolah dari Yi *et al.* (2014)

Tabel 2. Koefisien korelasi antarberbagai komponen pertumbuhan dan hasil tanaman beberapa genotipe jarak pagar dari Jatim, Sulsel, NTB, dan NTT

Parameter	Tinggi	Jumlah cabang	Jumlah tandan	Jumlah buah	Berat 100 biji	Kadar minyak	Hasil biji
Tinggi	-	0,26	0,38*	0,44*	0,34*	0,01	0,44*
Jumlah cabang		-	0,81*	0,59*	-0,06	-0,01	0,63*
Jumlah tandan			-	0,68*	-0,04	0,05	0,71*
Jumlah buah				-	0,10	0,01	0,90*
Berat 100 biji					-	-0,04	0,11
Kadar minyak						-	0,04
Hasil biji							-

Keterangan: *) Nyata pada taraf 5%.

Sumber: Sudarmo & Djumali (2013)

dan, jumlah kapsul/tanaman, dan hasil biji nyata lebih tinggi dibanding lainnya, sedangkan SM-75 NTB memiliki jumlah terendah. Jumlah buah yang dihasilkan PT-13 Lampung, ternyata masih lebih rendah dibanding JO S2, yang memiliki jumlah buah 1.252 mampu menghasilkan biji 4,25 ton/ha. Karena itu, upaya meningkatkan jumlah buah per tanaman perlu terus ditingkatkan.

Biabani *et al.* (2012) mempelajari perbedaan respon jarak pagar dari Indonesia (dua jenis), Malaysia (dua jenis), Filipina (satu jenis), dan India (satu jenis). Korelasi fenotipe nyata diperoleh antara hasil biji/tanaman dengan hari berbunga, jumlah infloresens, jumlah buah per tanaman, jumlah biji per tanaman, hasil biji per hektar, hasil minyak per tanaman, dan hasil minyak per hektar. Jumlah hari berbunga dari provenan Indonesia (241 hari dan 274 hari), dan dari Malaysia (267 dan 252 hari), Filipina (276 hari), dan India (260 hari). Namun, tidak ditemukan korelasi nyata antara hasil biji dan hasil minyak per hektar dengan jumlah hari berbunga, jumlah cabang kedua dan ketiga, bobot 100 biji, dan kadar minyak dalam biji. Hasil biji dan minyak per hektar ternyata meningkat seiring meningkatnya tinggi tanaman, jumlah infloresens, jumlah buah/tanaman, jumlah biji/buah, dan hasil minyak dalam biji/tanaman. Penggunaan benih biji ternyata mampu meningkatkan produktivitas biji disebabkan adanya kenaikan nyata jumlah tandan berbuah, jumlah buah/tandan, jumlah buah/tanaman, dan hasil biji/tanaman lebih tinggi (Nurnasari & Djumali 2012).

Jumlah bunga yang akan menjadi buah banyak dipengaruhi oleh banyaknya bunga dan proporsi bunga betina. Bunga betina pada jarak pagar lebih sedikit dibanding bunga jantan. Perbandingan bunga jantan terhadap betina berkorelasi nyata dengan hasil biji (Yi *et al.* 2014; Rao *et al.* 2008). Faktor genetik memiliki pengaruh pada persentase bunga betina (Ahoton & Quenum 2012). Dari pengujian sembilan provenan

jarak pagar dari tiga benua, nisbah bunga jantan terhadap betina terendah diperoleh dari provenan Ekuador (13:1). Perbaikan hasil biji dan minyak jarak pagar melalui perbaikan *sink* dapat dilakukan melalui peningkatan persentase bunga betina. Usaha ini dapat dilakukan melalui pemuliaan, atau aplikasi zat pengatur tumbuh dengan jenis, dosis, waktu, dan cara yang tepat. Laporan dari Nurnasari & Djumali (2011) menunjukkan adanya kenaikan jumlah bunga betina, jumlah tandan/tanaman, dan hasil biji dengan aplikasi NAA.

PERANAN SOURCE DAN SINK TANAMAN

Pemahaman terhadap proses fisiologis tanaman sangat penting dan menjadi salah satu pertimbangan dalam perakitan varietas dan teknologi pendukungnya. Daun merupakan organ pokok penghasil biomassa melalui fotosintesis. Agar produktivitas biomassa maksimal, jumlah daun dan susunannya dalam arsitektur kanopi harus optimal. Kanopi tanaman sangat penting perannya dalam proses fotosintesis melebihi daun individual. Hal ini terkait dengan posisi daun dalam kanopi tanaman, bagian atas umumnya mendapatkan cahaya lebih banyak, sedangkan bagian bawah lebih sedikit atau bahkan tidak memperoleh penyinaran (Oosterhuis *et al.* 1990).

Dalam kajian terhadap produktivitas tanaman, selain memperhitungkan komponen vegetatif atau komponen pertumbuhan, juga memperhitungkan komponen reproduktif atau komponen hasil tanaman. Hasil penelitian hubungan komponen vegetatif dan reproduktif tanaman jarak pagar telah banyak dilaporkan. Hasil penelitian Sudarmo & Djumali (2013) menunjukkan adanya korelasi antara hasil biji dengan komponen pertumbuhan yang terdiri atas tinggi tanaman, jumlah cabang, dan komponen hasil jumlah tandan, dan jumlah buah. Ternyata komponen pertumbuhan dan hasil beberapa genoti-

pe jarak pagar dari Jatim, Sulsel, NTB, dan NTT tidak berkorelasi nyata dengan kadar minyak (Tabel 2). Tidak adanya korelasi dengan kadar minyak tersebut, menunjukkan pentingnya usaha peningkatan produktivitas biji untuk memperoleh produksi minyak yang tinggi.

Studi korelasi sangat bermanfaat untuk menentukan karakter morfologi atau komponen lain yang menentukan hasil atau sifat lain yang diinginkan. Namun, mekanisme hubungan antara komponen tersebut dengan hasil atau komponen lainnya perlu dijelaskan secara fisiologis. Pemahaman peran komponen *source* dan *sink* suatu tanaman, termasuk jarak pagar, sangat diperlukan agar strategi peningkatan produktivitas dapat dilakukan lebih efektif. Berikut akan diuraikan tentang karakteristik umum dan bagaimana hubungan antara *source* dan *sink*.

Karakteristik *Source* dan *Sink* Tanaman

Pengertian *source* dalam fisiologi berarti sumber, penghasil, penyedia, pemasok atau pengeksport fotosintat atau asimilat. Fotosintat atau asimilat dari *source* ditujukan pada *sink*. Karena itu *sink* berarti tempat tujuan, tempat penimbunan, atau tempat pemanfaatan fotosintat atau asimilat. Pada tanaman jarak pagar, hasil fotosintesis dari *source* utama (daun) dipartisikan ke berbagai organ atau jaringan *sink*. Untuk memperoleh produktivitas biji dan minyak yang tinggi, maka partisi terbanyak diharapkan pada *sink* utama yaitu biji dan minyak. Produktivitas tanaman banyak dipengaruhi oleh kapasitas dan keseimbangan *source* dan *sink* (Raden *et al.* 2008; Matsuda *et al.* 2011). Strategi untuk peningkatan hasil biji dan minyak jarak pagar dapat dilakukan dengan meningkatkan proses-proses fisiologis terkait peningkatan peran *sink* dalam mempengaruhi dan memanfaatkan asimilat dari *source*, serta biosintesis hasil biji dan minyak. Produksi biomassa perlu diikuti dengan peningkatan konversi menjadi hasil ekonomi berupa biji atau minyak.

Kemampuan tanaman menghasilkan fotosintat (*source*), mendistribusikan fotosintat bersih ke organ penyimpanan (*sink*), serta mengubah fotosintat menjadi hasil ekonomi merupakan unsur penting bagi peningkatan hasil tanaman. Translokasi asimilat ke organ *sink* ditentukan oleh posisi dan kekuatan relatif *sink* (Fisher *et al.* 2012). Menurut Foyer & Paul (2001) jaringan *source* adalah jaringan pengeksport neto (*net exporter*) fotosintat, sedangkan jaringan *sink* adalah jaringan *net importer* fotosintat. Menurut Venkateswarlu & Visperas (1987) terdapat beberapa tipe *sink* pada berbagai tanaman:

- *Primer*: buah, biji, dan organ seksual
- *Sekunder*: organ lain dalam tanaman yang merupakan tempat akumulasi fotosintat sebelum pengisian organ seksual. Juga termasuk di sini organ reproduksi vegetatif seperti rizoma dan umbi.
- *Alternate* (berganti, sementara): tempat mobilisasi seperti petiol, batang, pelepah, pengisian *sink* utama. Tanaman seperti kenaf, pengembangan serat dalam batang merupakan *sink primer*, sedangkan batang dan biji *sink alternate*. Dalam kapas, biji dan minyak adalah *sink alternate*.
- Tambahan: *sink* berupa anakan, sogolan, dan juga mikroba simbiotik atau parasitik.
- *Metabolik*: sel yang tumbuh cepat, meristematik pada tunas, kambium, embrio, dsb.

Karakteristik *source* dan *sink* berbagai tanaman bervariasi. Organ *source* merupakan organ utama pendukung hasil biologi, sedangkan organ *sink* ada yang merupakan organ pendukung hasil ekonomi dan ada pula menjadi organ pesaing untuk meningkatkan hasil ekonomi. Berikut akan disampaikan secara singkat peran organ, jaringan, atau sel (Venkateswarlu & Visperas 1987):

- Selalu *source*: sel berklorofil dan daun hijau. Beberapa penelitian menyampaikan, daun hijau pada awalnya masih membutuhkan fotosintat, kemudian berkembang menjadi *source*.

- Selalu *sink*: umbi, akar, batang bawah tanah, tunas sedang berkembang, bunga, beberapa batang atas.
- *Source* atau *sink*: buah okra, pepaya, tomat, pisang, mangga, anggur.

Menurut Wardlaw (1990) selain daun (kecuali awal) organ berklorofil lain yang berfungsi sebagai *source* antara lain batang, infloresens, dan buah yang berklorofil (hijau). *Sink* dapat berupa senyawa karbohidrat, lemak, protein, selulosa, dan lignin. Daun yang masih muda memiliki kandungan klorofil dan laju fotosintesis rendah dan membutuhkan asimilat, dan dengan berkembangnya daun akhirnya mampu menghasilkan asimilat berlebih dan dikirim ke *sink*. Pada tanaman kapas, umur daun 0–14 hari setelah mekar, daun masih merupakan *sink*. Pada umur 15–28 hari, daun kapas menjadi *source* yang kuat, dan kemampuannya sebagai *source* mulai menurun mulai 29 hari (Oosterhuis *et al.* 1990). Bertambahnya umur tanaman kapas, dari 60 menjadi 90 dan 120 hari setelah tanam, persentase daun *sink* yang mulanya 36% menurun menjadi 11% dan 3%. Sebaliknya, *source* lemah meningkat dari 26%, 68% menjadi 87%. Dengan demikian, perkembangan daun dimulai sebagai *sink*, kemudian masa transisi, dan akhirnya sebagai *source*. Hasil penelitian Raden *et al.* (2008) memperlihatkan laju fotosintesis daun tunggal tanaman jarak pagar tertinggi dicapai pada saat daun 6 minggu setelah kuncup dan pada umur selanjutnya mengalami penurunan.

Hasil-hasil penelitian tentang ukuran *sink* dan *source* pada jarak pagar sukar dijumpai. Venkateswarlu & Visperas (1987) menyampaikan bahwa ukuran *sink* ditentukan oleh kapasitas *sink* dan aktivitasnya. Kapasitas *sink* adalah volume maksimum tersedia untuk menampung hasil biosintesis dari fotosintat. Kapasitas *sink* dapat dinyatakan dalam jumlah, ukuran, dan berat biji. Aktivitas *sink* merupakan kapasitas *sink* untuk mempengaruhi laju translokasi dari *source* ke *sink* tersebut. Kekuatan *sink* me-

entukan translokasi fotoasimilat dari *source* ke *sink* (Abdoli *et al.* 2013).

Hubungan *Source* dan *Sink*

Penelitian hubungan antara *source* dan *sink* banyak dilakukan terutama untuk mengetahui respon hasil dan komponen hasil tanaman terhadap perubahan besarnya *source* dan *sink*. Menurut Fisher *et al.* (2012) *source* dan *sink* tanaman dipengaruhi oleh interaksi faktor genetik dan lingkungan. Energi cahaya ditangkap dan dikonversi menjadi energi kimia melalui proses fotosintesis, selanjutnya asimilat ditranslokasi, disimpan pada organ penyimpan cadangan seperti biji, buah atau umbi, dan dimanfaatkan. Daun muda bersifat heterotrof sehingga juga membutuhkan asimilat. Hubungan *source* dan *sink* dipengaruhi oleh proses penuaan daun, berbagai stres suhu, kimia, salinitas, dan berbagai faktor lainnya. Kapasitas fotosintesis daun yang posisinya dekat dengan buah lebih tinggi dibanding yang jauh.

Menurut Warraich *et al.* (2002) produksi bahan kering dipengaruhi oleh hubungan *source* dan *sink*. *Source* adalah kapasitas potensial untuk fotosintesis dan *sink* adalah kapasitas potensial untuk memanfaatkan produk fotosintesis. Defoliasi pada beberapa tanaman mengakibatkan kenaikan laju fotosintesis daun. Menurut Norouzi *et al.* (2012) indeks panen pada tanaman kedelai dipengaruhi oleh nisbah *source* dan *sink*. Indeks panen maksimum pada defoliasi 75% dan minimum pada kanopi terbuka. Meskipun indeks panen tanaman kanopi terbuka lebih rendah, produktivitasnya lebih tinggi dibanding kontrol, disebabkan intersepsi cahaya dan fotosintesis meningkat. Kanopi terbuka dapat meningkatkan hasil 12% dibanding kontrol.

Menurut Grimm *et al.* (2004) kenaikan nisbah *source* dan *sink* pada bunga matahari menyebabkan penurunan persentase biji bernas dan kenaikan berat biji. Perkembangan dari biji dipengaruhi oleh kemampuan *source* memasok asimilat. Perubahan nisbah *source* dan *sink* se-

lain dilakukan dengan perlakuan pada daun dan bunga, juga dapat terjadi melalui penataan populasi tanaman. Peningkatan populasi pada tanaman bunga matahari ternyata menurunkan nisbah *source* dan *sink* dari 144 menjadi 106,5 cm² hari/biji (Ruiz & Madonni 2004). Penurunan tersebut terutama terkait dengan penurunan *source* akibat durasi luas daun (LAD) per tanaman yang menurun relatif besar dibanding kebutuhan fotosintat dari *sink* (dalam jumlah biji/tanaman). Berat biji dapat ditingkatkan dan mencapai maksimum pada 60 mg dan kadar minyak 31 mg/butir ketika nisbah *source* dan *sink* 154 cm² hari/ butir.

Menurut Vanitha & Mohandass (2014) pada tanaman padi ukuran dari *source* ditentukan oleh jumlah dan luas daun/rumpun, sedangkan aktivitas *source* ditentukan oleh efisiensi fotosintesis dan durasi luas daun (LAD). Analisis *source* dan *sink* selanjutnya dapat dilakukan dengan menentukan besaran nisbah *source* dan *sink* untuk mengetahui tingkat hambatan *sink* dalam hubungannya dengan *source*, serta kemampuan *source* relatif terhadap produksi biomassa. Plaut *et al.* (1987) melaporkan respon berbeda beberapa tanaman terhadap perubahan *source* dan *sink*. Peningkatan nisbah *source* dan *sink* menurunkan laju fiksasi CO₂ dan meningkatkan kandungan pati daun pada tanaman mentimun, kapas, dan lobak, namun pada tanaman cabai, terong, kacang, dan jarak kepyar pengaruhnya tidak nyata. Hasil penelitian Mi *et al.* (2009) pada tanaman gandum ternyata untuk spesies yang sama (gandum), pentingnya posisi relatif *source* dan *sink* berbeda, ada kultivar menghadapi masalah *sink*, *source* atau keduanya. Penurunan laju pengisian biji dari fotosintesis dapat menurunkan berat biji, dan sebaliknya.

Warraich *et al.* (2002) menyebutkan pentingnya keseimbangan hara untuk pengaturan nisbah *source* dan *sink* terbaik. Tanaman jarak pagar menghasilkan biji yang banyak mengandung lemak. Peningkatan dosis nitrogen meningkatkan indeks luas daun, laju pertumbuhan

relatif, laju asimilasi neto. Hasil penelitian Yong *et al.* (2010) produksi minyak jarak pagar dapat ditingkatkan dengan pemupukan. Dosis pupuk majemuk NPK dapat meningkatkan produksi minyak melalui peningkatan produktivitas biji, namun hubungan antara dosis pupuk NPK dengan kadar minyak tidak nyata. Karena itu, pembahasan hubungan *source* dan *sink* jarak pagar, yang menjadi fokus lebih banyak pada peningkatan produktivitas biji.

Untuk inisiasi daun dan primordia bunga diperlukan cukup nitrogen selama pertumbuhan awal tanaman (Warraich *et al.* 2002). Peranan nitrogen dalam pembentukan daun akan meningkatkan intersepsi cahaya, sehingga menjadi faktor penting dalam mendukung produksi biji melalui pasokan asimilat. Pada saat pembentukan biji, pasokan asimilat dari daun berlangsung aktif sehingga fase tersebut merupakan faktor penting untuk meningkatkan produksi biji. Laju dan durasi pengisian biji merupakan faktor genetik. Faktor lingkungan seperti suhu tinggi dapat mempercepat laju asimilasi dan translokasi fotosintat dari daun bendera tanaman sereal ke bulir. Nitrogen meningkatkan indeks luas daun (LAI), laju tumbuh relatif, dan laju asimilasi neto. Nitrogen juga meningkatkan anakan produktif, jumlah malai per luas, laju dan durasi pengisian biji, serta hasil biologi, dan hasil biji.

Akumulasi biomassa dipengaruhi oleh cahaya yang sampai. Cahaya yang sampai ditentukan oleh arsitektur tanaman dan efektivitas tajuk dalam intersepsi cahaya. Akumulasi biomassa terjadi terus dengan bertambahnya umur sampai tanaman masak. Kanopi tanaman yang tersusun mengikuti pola arsitektur tertentu dapat berubah karena penggembalaan hewan, defoliasi secara mekanis, atau aplikasi ZPT. Bentuk tajuk berpengaruh pada hasil biji. Defoliasi merupakan salah satu upaya modifikasi tajuk dengan mengurangi daun, dapat terjadi oleh faktor manusia maupun organisme lain seperti serangan OPT. Defoliasi yang tepat dapat meningkatkan hasil, dan sebaliknya.

STRATEGI PERBAIKAN SOURCE DAN SINK TANAMAN

Penelitian tentang interaksi *source* dan *sink* pada tanaman jarak pagar masih terbatas dilakukan. Pengetahuan tentang interaksi keduanya sangat penting, agar target untuk memperoleh hasil ekonomi tinggi lebih mudah dicapai. Hasil dari *source* berupa asimilat perlu diarahkan lebih banyak untuk meningkatkan produksi biji, dan bukan pada *sink* lainnya. Karena itu, pengetahuan tentang kekuatan relatif *sink* dan faktor yang mempengaruhinya sangat penting. Menurut Cannel 1985 dalam Wolstenholme & Whiley 1990) prioritas atau kekuatan *sink* secara umum adalah: biji > buah = kuncup dan daun > kambium > akar > organ penyimpan cadangan. Wolstenholme & Whiley (1990) berpendapat tentang pentingnya buah yang memiliki pengaruh kuat pada partisi dan cenderung melawan pertumbuhan vegetatif dan khususnya akar.

Berikut akan diuraikan berbagai hasil penelitian terkait *source* dan *sink* pada beberapa tanaman, yang diharapkan dapat diadopsi untuk penyusunan strategi peningkatan produktivitas jarak pagar melalui pendekatan *source* dan *sink*. Ke depan, penelitian mekanisme dan interaksi hubungan *source* dan *sink* pada tanaman jarak pagar perlu dilakukan agar penyusunan strategi peningkatan produktivitas tanaman jarak pagar menjadi lebih, baik untuk mendukung perakitan varietas maupun teknologi budi daya.

Perbaikan *Source* Tanaman

Fotosintesis dipengaruhi oleh karakteristik daun (umur, morfologi, dan luas), besarnya kebutuhan fotosintat oleh *sink*, dan berbagai faktor lingkungan seperti kesuburan tanah, kandungan karbondioksida atmosfer, kelembapan, suhu, dan cahaya (Raden *et al.* 2008). Pengaruh karakteristik daun terhadap fotosintesis dimasukkan dalam nilai efisiensi cahaya untuk mereduksi CO₂ menurut de Vries *et al.* (1989)

atau efisiensi konversi menurut Zhu *et al.* (2010). Provenan IP menghasilkan nilai efisiensi atau nilai konversi tertinggi sebesar 0,55 (Djumali & Machfud 2009). Nilai efisiensi tersebut sudah melebihi rerata nilai efisiensi untuk tanaman C3 yakni sebesar 0,4. Tanaman jarak pagar termasuk jenis tanaman C3 sehingga peningkatan fotosintesis melalui perbaikan karakteristik daun belum menjadi prioritas. Nilai efisiensi yang tinggi menyebabkan laju fotosintesis daun tunggal tanaman jarak pagar menjadi tinggi.

Indek luas daun (ILD) dan ketebalan daun atau bobot spesifik daun (BSD) berpengaruh positif terhadap laju fotosintesis kanopi tanaman (de Vries *et al.* 1989). ILD tanaman jarak pagar provenan IP-3A pada umur 1–4 tahun berkisar 0,10–1,66. Dengan ILD sebesar 1,66 provenan IP-3A hanya memproduksi bahan kering sebesar 8,13 ton/ha dan berproduktivitas biji sebesar 1,79 ton/ha (Djumali *et al.* 2012). Oleh karena itu perlu dilakukan peningkatan ILD dengan program pemuliaan tanaman (persilangan) dan budi daya tanaman (pemangkasan, pengaturan populasi tanaman, dan penggunaan zat pengatur tumbuh). Provenan IP-3M merupakan salah satu provenan jarak pagar yang mempunyai ILD tinggi (Djumali & Nurnasari 2014) dan beradaptasi terhadap kondisi lingkungan yang luas. Persilangan antara provenan IP-3M dengan IP-3A atau provenan lain yang berindeks panen tinggi diharapkan akan menghasilkan provenan yang mempunyai indeks panen tinggi dan menghasilkan ILD tinggi sehingga diperoleh produktivitas biji yang tinggi pula.

Menurut Oosterhuis *et al.* (1990) kajian tentang laju fotosintesis kanopi sangat penting melebihi individu daun. Bentuk kanopi, indeks luas daun (ILD), dan penyebarannya mempengaruhi laju fotosintesis kanopi. Laju fotosintesis daun bagian bawah umumnya makin rendah. Pada tanaman sejenis gandum (*buckwheat*), menunjukkan adanya kenaikan laju fotosintesis daun akibat dari defoliasi dan penurunan nisbah *source* dan *sink*. Sebaliknya, penghilangan bu-

nga meningkatkan nisbah *source* dan *sink* akan segera menurunkan laju fotosintesis, sehingga meningkatkan kelebihan asimilat, penyerbukan, dan pembuahan. Dari hasil tersebut terlihat bahwa, selain karakteristik daun dan arsitektur kanopinya, laju fotosintesis daun dapat berubah oleh pengaruh *sink*.

Strategi peningkatan *source* pada dasarnya adalah upaya untuk menghasilkan asimilat seoptimal mungkin untuk dapat dimanfaatkan oleh *sink*. Arsitektur kanopi pada dasarnya dibangun oleh sistem percabangan. Sistem percabangan sampai tingkat tertentu dapat dimodifikasi dengan pemangkasan yang tepat. Beberapa penelitian menunjukkan percabangan lebih rendah (sekitar 30 cm) dapat menghasilkan sistem percabangan dan ILD lebih optimal. Untuk memperoleh bentuk kanopi dan percabangan yang baik dan produktif, pemangkasan perlu dilakukan tepat waktu, cara, dan posisi (Rajaona *et al.* 2011; Santoso 2012). Di sisi lain pemangkasan juga dapat meremajakan daun tanaman jarak pagar sehingga meningkatkan laju fotosintesis kanopi.

Peningkatan produksi *source* juga dapat dicapai melalui pengaturan populasi tanaman. Pengaturan populasi tanaman yang tepat sangat penting untuk mencapai ILD yang tinggi dan hasil yang optimal (Romli 2009; Munawwarah & Mastur 2009). Hasil penelitian Mulyaning-sih & Djumali (2012) di lahan kering berpasir memperlihatkan peningkatan populasi tanaman dari 2.500 tanaman/ha menjadi 10.000 tanaman/ha mampu meningkatkan ILD sebesar 50–362%, bahan kering tanaman sebesar 134–545%, dan produktivitas biji sebesar 77–178%. Secara umum pada lahan-lahan yang berkesuburan tanah tinggi memerlukan populasi tanaman yang tinggi untuk memperoleh ILD, bahan kering tanaman dan produktivitas biji yang optimal, sedangkan hal sebaliknya terjadi bila kondisi kesuburan tanah yang rendah.

Pemupukan merupakan salah satu strategi untuk meningkatkan *source*. Patolia *et al.*

(2015) melaporkan peningkatan nyata tinggi tanaman, lebar kanopi, total bahan kering, hasil biji, dan kadar minyak jarak pagar pada pemberian pupuk nitrogen sampai dosis 60 kg/ha pada tanah dangkal dan berpasir. Yong *et al.* (2010) juga melaporkan peningkatan dosis pupuk *slow released* NPK (18:5:8) pada dosis 240 g/pot, menghasilkan persentase pembungaan 100%, meningkatkan jumlah buah/tanaman, namun tidak berpengaruh nyata pada kadar minyak. Respon pemupukan fosfor pada penelitian yang sama pada aplikasi dosis hingga 30 kg P₂O₅/ha. Kombinasi 60 kg N/ha dan 30 kg P₂O₅/ha memberikan kenaikan hasil tertinggi (163%) dibanding kontrol. Pemupukan nitrogen (150 kg N/ha) dikombinasi dengan kalium (120 kg K₂O/ha) dapat meningkatkan hasil buah jarak pagar 92%, dan hasil biji 95% dibanding kontrol (Montenegro *et al.* 2014). Namun pengaruhnya pada kadar minyak tidak nyata. Pada penelitian tersebut juga disimpulkan bahwa nitrogen lebih penting untuk produksi dan kualitas minyak pada jarak pagar dibanding kalium.

Permasalahan penting *source* yang terjadi pada jarak pagar adalah tingginya laju keguguran daun yang tinggi. Hasil penelitian Abugre *et al.* (2011) memperlihatkan bobot kering daun yang gugur per tahun sebesar 0,79–2,27 ton/ha tergantung populasi tanaman yang digunakan. Demikian pula hasil penelitian Djumali *et al.* (2012) memperlihatkan bahwa persentase daun yang gugur setiap bulannya sekitar 25,6–139,7% dengan rerata sebesar 75,5%. Persentase keguguran tertinggi terjadi pada kondisi perubahan bulan basah ke bulan kering.

Peranan *source* menjadi sangat penting terutama ketika fase pembentukan biji. Untuk itu, mempertahankan aktivitas daun agar tetap dapat memasok asimilat sangat penting. Menurut Schippers *et al.* (2007) senesens daun dapat dipercepat atau diperlambat dengan penggunaan fitohormon atau ZPT. Dua ZPT penting adalah sitokinin dan etilena yang masing-masing berperan dalam memperlambat dan mem-

percepat senesens daun. Akibat lebih lanjut dari senesens adalah gugur daun. Menurut Matos *et al.* (2012), senesens mengakibatkan aktivitas fotosintesis, kandungan klorofil, aktivitas nitrat reduktase, pertumbuhan vegetatif, dan kandungan nitrogen akan menurun selama senesens. Oleh karena itu perlu dilakukan pengujian pengaruh sitokinin untuk memperlambat senesens daun selama perkembangan biji.

Perbaikan Peran *Sink*

Hasil-hasil penelitian terkait komponen hasil (reproduktif) tanaman jarak pagar telah banyak, namun dalam pembahasannya tidak mengaitkan dengan perannya sebagai *sink* dan hubungannya dengan *source*. Peningkatan fotosintat tanaman jarak pagar akan lebih banyak mempengaruhi produktivitas biji bila diikuti oleh peningkatan partisi fotosintat ke *sink* utama terutama biji (Foyer & Paul 2001). Oleh karenanya Scully & Wallace (1990) memperkenalkan parameter kekuatan *sink* relatif, besarnya *sink* relatif akan lebih tinggi bila laju peningkatan pembentukan biji cukup tinggi sehingga melebihi laju pembentukan biomassa. Kekuatan *sink* relatif yang meningkat akan berpengaruh pada indeks panen.

Kekuatan *sink* relatif yang tinggi ditunjukkan oleh tingginya laju pertumbuhan/pengisian biji. Masa perkembangan biji yang panjang, didukung dengan laju penyediaan asimilat dari *source* yang tinggi dan panjang, akan meningkatkan produksi biji dan indeks panen. Adanya stres pada fase perkembangan biji harus dicegah agar aktivitas *source* tidak terganggu. Madani *et al.* (2010) melaporkan penurunan hasil pada tanaman gandum ketika mengalami stres kekeringan selama pengisian biji. Peningkatan produktivitas tanaman dapat ditingkatkan melalui perbaikan *source* dan *sink* antara lain ditujukan menjamin asimilat saat pengisian biji melalui perlakuan fertigasi, yaitu pemupukan NPK bersama irigasi (Vanitha & Mohandass 2014).

Beberapa hasil penelitian menunjukkan jumlah hari berbunga hanya berkorelasi negatif dengan hasil biji/tanaman (Biabani *et al.* 2012; Rao *et al.* 2008). Jumlah hari berbunga (DTF) lebih panjang memberikan pengaruh yang baik pada produksi, karena menyebabkan jumlah hari pengisian polong meningkat (DPF). Pada tanaman kacang, lamanya waktu pengisian polong penting peranannya dalam produksi (Scully & Wallace 1990). Lama waktu pengisian biji dapat diperpanjang dengan aplikasi zat pengatur tumbuh.

Pada program pemuliaan, identifikasi aksesori yang memiliki durasi perkembangan biji lebih lama, dan aksesori yang memiliki daun "*stay green*" seperti pada varietas unggul jagung diharapkan dapat memberi dukungan pada peningkatan indeks panen jarak pagar. Silip *et al.* (2010) melaporkan hasil studinya tentang daur hidup tanaman jarak pagar di Sabah pada tujuh aksesori lokal. Waktu perkembangan buah dari ketujuh aksesori bervariasi antara 21 hingga 35 hari untuk buah masak hijau, umur 23 hari hingga 39 hari untuk buah masak kuning, dan untuk masak hitam berumur antara 26 hari hingga 48 hari (Tabel 3).

Telah disampaikan pada bagian sebelumnya bahwa peranan ZPT sangat penting dalam memperpanjang umur daun melalui perlambatan senesens. ZPT yang berperan penting dalam hal ini terutama kelompok sitokinin, sebaliknya *ethrel* akan mempercepat senesens. Banyak hasil penelitian menyebutkan pentingnya lama dan laju pengisian biji untuk meningkatkan produktivitas biji. Hasil penelitian dari Silip *et al.* (2010) menunjukkan bahwa jarak pagar pertama kali berbunga pada 90–120 hari setelah tanam, tergantung faktor genetik. Masa pemasakan pada kondisi hijau memerlukan waktu 21–35 hari, menguning 2–4 hari kemudian, dan masak hingga menghitam 3–9 hari setelah menguning (Tabel 3).

Tabel 3. Durasi daur hidup atau waktu yang dibutuhkan jarak pagar dari tujuh akses lokal

Variabel reproduktif	Hari		Rata-rata
	Minimal	Maksimal	
Biji hingga muncul bakal bunga	85	98	91,5
Perkembangan bunga	7	18	12,5
Berbunga hingga muncul buah	1	8	4,5
Tandan buah hingga buah masak fisiologis hijau	21	35	28,0
Buah masak hijau ke masak kuning	2	4	3,0
Buah masak hijau ke masak hitam	3	9	6,0
Buah masak hijau ke kering	6	17	11,5
Berbunga ke buah kuning	24	47	35,5
Berbunga ke buah hitam	27	56	41,5
Berbunga ke buah masak kering	36	73	54,5

Sumber: Silip *et al.* (2010)

Masa pengisian biji akan efektif bila kondisi daun yang mendukungnya memiliki laju fotosintesis tinggi. Karena itu, upaya untuk mencegah senesens sangat penting agar pasokan asimilat tinggi.

Penggunaan ZPT juga penting perannya dalam peningkatan proporsi bunga betina. Hasil penelitian Makwana *et al.* (2010a) memperlihatkan bahwa aplikasi GA3 konsentrasi 10–100 ppm mampu meningkatkan jumlah bunga betina tanaman jarak pagar. Aplikasi 2,4D konsentrasi 100 ppm juga mampu meningkatkan nisbah bunga betina/jantan, jumlah bunga betina dan jumlah bunga total (Makwana *et al.* 2010b). Setiap varietas tanaman memerlukan konsentrasi ZPT tertentu untuk menghasilkan jumlah bunga yang optimum (Ishartati & Husen 2007). Oleh karenanya perlu dikaji jenis dan konsentrasi ZPT yang mampu menghasilkan jumlah bunga betina tertinggi.

Peningkatan peran *sink* juga dapat dilakukan dengan pemupukan. Efektivitas pemupukan dipengaruhi oleh tipe *sink*. Secara lebih sederhana untuk mengetahui hara apa yang penting untuk peningkatan *sink* dapat dikaitkan dengan serapan hara pada *sink* tersebut. Secara umum, biji membutuhkan fosfor relatif banyak, sedangkan umbi dan buah umumnya banyak membu-

tuhkan kalium, dan daun banyak membutuhkan nitrogen. Untuk jarak pagar nampaknya hara fosfor dibutuhkan relatif banyak untuk biji. Selanjutnya, efektivitas dari perbaikan *sink* harus dikaitkan dengan masalah tanaman tentang peran relatif *source* dan *sink*. Dalam beberapa tanaman seperti kedelai dan padi, maka *sink* sering kali menjadi masalah, sedangkan pada tanaman kapas dan jarak pagar nampaknya *source* menjadi masalah. Untuk meningkatkan *source*, maka pemupukan nitrogen sangat penting, karena banyak dipakai dalam membentuk daun. Oleh karena itu, peningkatan produktivitas biji jarak pagar terutama perlu memperhatikan pemupukan nitrogen dan fosfor.

KESIMPULAN

Informasi hubungan *source* dan *sink* pada tanaman jarak pagar perlu lebih banyak dikembangkan. Informasi ini sangat penting untuk menghasilkan varietas unggul produktivitas dan mutu tinggi serta rakitan teknologi pendukungnya. Kajian tentang kondisi *source* dan *sink* secara total dan nisbahnya diperlukan untuk mengetahui pada bagian mana dari suatu genotipe perlu mendapat perhatian lebih untuk diperbaiki. Agar diperoleh tanaman dengan *source* produktif, maka upaya untuk mencari genotipe tanaman yang memiliki arsitektur tanaman dengan laju fotosintesis kanopinya tinggi sangat penting. Selain itu, perlu juga diperoleh sifat dengan kondisi daun aktif berfotosintesis selama pengisian biji dengan laju tinggi dan lama. Senesens daun pada saat pembentukan biji diharapkan dapat minimal.

Perbaikan *sink* utama tanaman jarak pagar, dapat dilakukan dengan meningkatkan nisbah bunga betina dan total bunga menjadi buah, baik secara genetik maupun penggunaan ZPT. *Source* yang terganggu saat pembungaan akan menyebabkan bunga yang jadi buah akan berkurang. Karena itu, peningkatan jumlah buah

jadi sangat penting. Pemilihan genotipe tanaman yang memiliki durasi pembentukan biji yang panjang, didukung dengan laju penyediaan asimilat tinggi dan lama akan dapat menghasilkan biji yang lebih bernas. Kondisi *sink* untuk memanfaatkan fotosintat secara maksimal, didukung *source* dengan laju fotosintesis kanopi tinggi, dan senesens terbatas akan menghasilkan jarak pagar dengan produktivitas dan mutu tinggi.

Penggunaan ZPT seperti sitokinin diharapkan dapat memperpanjang pasokan asimilat. Pemupukan nitrogen dan fosfor sangat penting untuk perkembangan daun dan biji jarak pagar. Pembentukan genotipe tanaman yang ideal dapat dilakukan melalui pemuliaan. Perbaikan teknologi budi daya seperti pemangkasan, pengaturan populasi dan jarak tanam, pemupukan, pengairan dan aplikasi ZPT diharapkan dapat meningkatkan sinergi *source* dan *sink*. Upaya lain yang perlu juga dikembangkan adalah peningkatan proporsi partisi fotosintat agar lebih banyak ke *sink* utama. *Sink* pesaing seperti akar, batang, dan bagian lain tidak produktif perlu dapat ditekan, baik selama perkembangan biji maupun pada fase vegetatif sebelumnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dr. Ir. Djumali, MP yang telah banyak memberikan masukan untuk tinjauan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdoli, M, Saeidi, M, Jalali-Honarmand, S, Mansourifar, S, Ghobadi, ME & Cheghamirza, K 2013, Effect of source and sink limitation on yield and some agronomic characteristics in modern bread wheat cultivars under post anthesis water deficiency, *Acta Agriculturae Slovenica*, 101(2):173–182.
- Abugre, S, Oti-Boateng, C & Yeboah, MF 2011, Litter fall and decomposition trend of *Jatropha curcas* L. leaves mulches under two environmental conditions, *Agriculture and Biology Journal of North America*, 2(3):462–470.
- Ahoton, LE & Quenum, F 2012, Floral biology and hybridization potential of nine accessions of physic nut (*Jatropha curcas* L.) originating from three continents, *Tropicultura*, 30(4):193–198.
- Biabani, A, Rafii, MY, Shaleh, GB, Sabanmofrad, M & Latif, MA 2012, Phenotypic and genotypic variation of *Jatropha curcas* L. populations from different countries, *Maydica*, 57:164–171.
- de Vries, FWTP, Jansen, DM, ten Berge, HFM & Bakema, A 1989, Simulation of ecophysiological processes of growth in several annual crops, *Simulation Monograph* 29, Pudoc, Wageningen.
- Djumali & Machfud, M 2009, Fotosintesis dan kaitannya dengan produksi tanaman jarak pagar (*Jatropha curcas* L.), *Prosiding Lokakarya Nasional IV Jarak Pagar: Akselerasi Inovasi Teknologi Jarak Pagar Menuju Desa Mandiri Energi*, Surya Pena Gemilang Publishing, Malang, hlm. 177–183.
- Djumali & Nurnasari, E 2014, Karakter tanaman yang mempengaruhi hasil tanaman jarak pagar (*Jatropha curcas* L.), *Jurnal Agronomi Indonesia*, 42(1):66–73.
- Djumali, Nurnasari, E, Hidayati, SN & Diana, NE 2012, Simulasi model produksi dan kadar minyak jarak pagar berdasarkan karakter tanaman, Laporan Tahun Anggaran 2011, Balai Penelitian Tanaman Tembakau dan Serat, Malang.
- Fisher, PJ, Almanza-Merchan & Ramirez, F 2012, Source-sink relationship in fruit species, *Revista Colombiana De Ciencias Hortícolas*, 6(2): 238–253.
- Foyer, CH & Paul, MJ 2001, *Source-Sink Relationships*, *Encyclopedia of Life Sciences*, Nature Publishing Group, UK, p. 1–11, diakses pada 1 Desember 2014 (WWW.els.net).
- Gedoan, SP, Hartana, A, Hamim, Widyastuti, U & Sukarna, N 2011, Pertumbuhan tanaman jarak pagar (*Jatropha curcas* L.) pada lahan pasca-tambang timah di Bangka yang diberi pupuk organik, *Jurnal Ilmiah Sains*, 11(2):181–190.
- Grimm, E, Alkio, M & Diepenbrock, W 2004, Experimentally increased source-sink ratio: A method to screen yield potential in sunflower, *Proc. 16th*

- International Sunflower Conference*, Fargo, ND USA, p. 275–280.
- Hartati, RS, Setiawan, A, Heliyanto, B, Pranowo, D & Sudarsono 2009, Keragaan morfologi dan hasil 60 individu jarak pagar (*Jatropha curcas* L.) terpilih di Kebun Percobaan Pakuwon Sukabumi, *Jurnal Penelitian Tanaman Industri*, 15(4): 152–161.
- Hasnam 2011, Prospek perbaikan genetik jarak pagar (*Jatropha curcas* L.), *Perspektif*, 10(2):70–80.
- Heller, J 1996, *Physic nut, Jatropha curcas L., Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops*. 1, Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, Gatersleben? International Plant Genetic Resources Institute, Rome, 66 p.
- Ishartati, E & Husen, S 2007, Induksi pembungaan, kompatibilitas dan karakterisasi semai hibrida persilangan antar-kultivar mangga (*Mangifera indica* L.), *Jurnal Akta Agrosia*, 1:77–85.
- Jongschaap, REE, Corre, WJ, Bindraban, PS & Brandenburg, WW 2007, *Claims and Facts on Jatropha curcas L.: Global Jatropha curcas evaluation, breeding, and propagation programme*, Report 158, Plant Research International, Wageningen, 34 p.
- Madani, A, Rad, AS, Pazoki, A, Nourmohammadi, G & Zarghami, R 2010, Wheat (*Triticum aestivum* L.) grain filling and dry matter partitioning responses to source: Sink modification under post-anthesis water and nitrogen deficiency, *Maringa*, 32(1):145–151.
- Makwana, V, Shukla, P & Robin, P 2010a, GA application induces alteration in sex ratio and cell death in *Jatropha curcas*, *Plant Growth Regulation*, 61:121–125.
- Makwana, V, Shukla, P & Robin, P 2010b, Comparing potential of GA and 2,4-D in increasing fruit yield from *Jatropha curcas*, *Journal of Biofuels*, 1(1):157–162.
- Matos, FS, de Oliveria, LD, de Freitas, RG, Evaristo, AB, Missio, RF, Cano, MAO & Dias, LAS 2012, Physiological characterization of leaf senescence of *Jatropha curcas* L. populations, *Biomass and Bioenergy*, 45:57–64.
- Matsuda, R, Suzuki, K, Nakano, A, Higashide, T & Takaichi, M 2011, Responses of leaf photosynthesis and plant growth to altered source-sink balance in a Japanese and Dutch tomato cultivar, *Scientia Horticulturae*, 127:520–527.
- Mi, G, Chen, F & Zhang, F 2009, Grain filling rate is limited by insufficient sugar supply in the large-grain wheat cultivar, *Journal of Plant Breeding and Crop Science*, 1(3):060–064.
- Montenegro RO, Magnitskiy, S & Henao, KMC 2014, Effect of nitrogen and potassium fertilization on the production and quality of oil in *Jatropha curcas* L. under the dry and warm climate conditions of Colombia, *Agronomia Colombiana*, 32(2):255–265.
- Mulyani, A, Agus, F & Allorerung, D 2006, Potensi sumberdaya lahan untuk pengembangan jarak pagar (*Jatropha curcas* L.) di Indonesia, *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pertanian*, 25(4): 130–138.
- Mulyaningsih, S & Djumali 2012, Pertumbuhan dan produksi jarak pagar (*Jatropha curcas* L.) pada tiga populasi tanaman di lahan kering berpasir, Laporan Hasil Penelitian Balai Penelitian Tanaman Tembakau dan Serat, Malang.
- Munawwarah, T & Mastur 2009, Kajian produksi jarak pagar (*Jatropha curcas* L.) di Kutai Barat degan berbagai jarak tanam, *Prosiding Lokakarya Nasional IV: Akselerasi Inovasi Teknologi Jarak Pagar Menuju Kemandirian Energi*, Surya Pena Gemilang, Malang, hlm. 309–314.
- Natr, L & Lawlor, DW 2005, Photosynthetic plant productivity, Chapter 27, Section IX, *Photosynthesis and Plant/Crop Productivity and Photosynthetic Product*, Taylor and Francis Group, LLC., 25 p.
- Norouzi, HA, Rezaei, M, Safar zad, Y & Kaviani, B 2012, Exchanging amount of sink and sources affect on soybean yield and yield components, *Annals of Biological Research*, 3(6):3.077–3.083.
- Nurnasari, E & Djumali 2011, Respon tanaman jarak pagar (*Jatropha curcas*) terhadap lima jenis zat pengatur tumbuh ZPT, *Buletin Tanaman Tembakau, Serat & Minyak Industri*, 3(2):71–79.
- Nurnasari, E & Djumali 2012, Keragaman pertumbuhan dan hasil populasi tanaman jarak pagar IP 3A, *Buletin Tanaman Tembakau, Serat & Minyak Industri*, 4(1):1–9.
- Oosterhuis, D, Kerby, T & Hake, K 1990, Leaf physiology and management, *Physiology Today*,

- Newsletter of the Cotton Physiology Education Program*, National Cotton Council Technical Service, 6 p.
- Patolia, JS, Ghosh, A, Chikara, J, Chaundhary, DR, Parmar, DR & Bhuva, HM 2015, Response of *Jatropha curcas* grown on wasteland to N and P fertilization, diakses pada 4 Februari 2015 (www.jatropha-alliance.org/fileadmin/document/s/knowledgepool/PatoliaGhosh_jatropha_wasteland_N-fertilizer.pdf).
- Plaut, Z, Mayoral, ML & Reinhold, L 1987, Effect of altered sink : source ration on photosynthetic metabolism of source leaves, *Plant Physiology*, 85:786–791.
- Raden, I, Purwoko, BS, Hariyadi, Gulamahdi, M & Santosa, E 2008, Karakteristik daun jarak pagar (*Jatropha curcas* L.) dan hubungannya dengan fotosintesis, *Buletin Agronomi*, 36(2):168–175.
- Rajaona, AM, Brueck, H & Asch, F 2011, Effect of pruning history on growth and dray mass partitioning of jatropha on a plantation site in Madagaskar, *Biomass and Bioenergy*, 35:4.892–4.900.
- Rao, GR, Korwar, GR, Shanker, AK & Ramakrishna, YS 2008, Genetic associations, variability and diversity in seed characters, growth, reproductive, *Trees*, 22(5):697–709.
- Romli, M 2009, Pengaruh populasi tanaman terhadap pertumbuhan dan hasil jarak pagar (*Jatropha curcas* L.) pada tahun ketiga, *Prosiding Lokakarya Nasional IV: Akselerasi Inovasi Teknologi Jarak Pagar Menuju Kemandirian Energi*, Surya Pena Gemilang, Malang, hlm. 192–196.
- Ruiz, RA & Madonni, GA 2004, Determination of grain weight and oil concentration of sunflower fruits at different capitulum positions, *Proc. 16th International Sunflower Conference*, Fargo, ND USA, p. 300–307.
- Santoso, BB 2012, Keragaan hasil jarak pagar (*Jatropha curcas* L.) pada berbagai umur pemangkasan, *Jurnal Agronomi Indonesia*, 40(1):69–76.
- Santoso, BB, Hasnam, Hariyadi, Susanto, S & Purwoko, BS 2008, Potensi hasil jarak pagar (*Jatropha curcas* L.) pada satu tahun budi daya di lahan kering Lombok Barat, Nusa Tenggara Barat, *Buletin Agronomi*, 36(1):161–167.
- Schippers, JHM, Jing, HC & Dijkwel, PD 2007, Developmental and hormonal control of leaf senescence, *Senescence Process in Plants*. Gan S., Blackwell Publishing, Oxford, UK, p. 145–170.
- Scully, BT & Wallace, DH 1990, Variation in and relationship of biomass, growth rate, harvest index, and phenology to yield of common bean, *Journal American Society Horticulture Science*, 115(2):218–225.
- Sharma-Natu, P & Ghildiyal, MC 2005, Potential target for improving photosynthesis and crop yield, *Current Science*, 88(12):1.918–1.928.
- Silip, JJ, Tambunan, AH, Hambali, H, Sutrisno & Surahman, M 2010, Lifecycle duration and maturity heterogeneity of *Jatropha curcas* Linn. *Journal of Sustainable Development*, 3(2):291–294.
- Sudarmo, H & Djumali 2013, Uji daya hasil beberapa aksesori jarak pagar berpotensi produksi dan berkadar minyak tinggi pada lahan kering di Asembagus, *Buletin Tanaman Tembakau, Serat & Minyak Industri*, 5(1):20–30.
- Sudarmo, H, Machfud, M, Djumali, Pranowo, D & Tukimin SW 2010, Skrining provenan jarak pagar terpilih di beberapa agroekosistem, *Buletin Tanaman Tembakau, Serat & Minyak Industri*, 2(1):19–25.
- Syakir, M 2010, Prospek dan kendala pengembangan jarak pagar (*Jatropha curcas* L.) sebagai bahan bakar nabati di Indonesia, *Perspektif*, 9(2):55–65.
- Sylvester-Bradley, R, Lunn, G & Foulkes, J 2002, Management strategies for high yields of cereals and oilseed rape, *HGCA conference 2002: Agronomic intelligence: The basis for profitable production*, Home Grown Cereal Authority Conventry, UK, p. 8.1–8.17.
- Tanaka, A 1983, Physiological aspect of productivity in field crops, *Symposium of potential productivity of field crops under different environments*, IRRI, Los Banos, Philippenes, p. 61–80.
- Vanitha, K & Mohandass, S 2014, Drip fertigation could improve source-sink relationship of aerobic rice (*Oriza sativa* L.), *Academic Journal*, 9(2):294–301.

- Venkateswarlu, B & Visperas, RM 1987, Source and sink relationships in crop plants, IRRRI Research Paper Series 125, 19 p.
- Vertreten, N & de Vries, FWTP 1987, A rapid method for determining the efficiency of biosynthesis of plant biomass, *J. Theor. Biol.* 128:109–119.
- Wardlaw, IF 1990, The control of carbon partitioning in plants, Transley No. 24, *New Phytol.* 116: 341–381.
- Warraich, EA, Ahmed, N, Basra, SMA & Afzal, I 2002, Effect of nitrogen on source-sink relationship in wheat, *International Journal of Agriculture and Biology*, 4(2):300–302.
- Wolstenholme, BN & Whiley, AW 1990, Prospects for vegetative-reproductive growth manipulation in avocado trees, *South African Avocado Growers Association Yearbook* 13:21–24.
- Yang, CY, Deng, X, Fang, Z, Peng, DP 2010, Selection of high-oil-yield seed sources of *Jatropha curcas* L. for biodiesel production, *Biofuels*, 1(5):705–717.
- Yi, C, Reddy, C, Varghese, K, Bui, TNH, Zhang, S, Kallath, M, Kunjachen, B, Ramachandran, S & Hong, Y 2014, A new *Jatropha curcas* Variety (JO S2) with improved seed productivity, *Sustainability*, 6:4.355–4.368.
- Yong, JWH, Ng, YF, Tan, SN & Chew, AYL 2010, Effect of fertilizer application on photosynthesis and oil yield of *Jatropha curcas* L., *Phytosynthesis*, 48(2):2.018–2.218.
- Zhu, XG, Long, SP & Ort, DR 2010, Improving photosynthetic efficiency for greater yield, *Annual Review Plant Biology*, 61:235–261.