

Rezaldi, F. · M.A.H. Qonit · S. Mubarak · A. Nuraini · Kusumiyati

Pemanfaatan fenomena pembentukan buah partenokarpi dalam perspektif pertanian di Indonesia

The use of parthenocarpic fruit in the perspective of agriculture in Indonesia

Diterima : 26 Maret 2019/Disetujui : 31 Juli 2019 / Dipublikasikan : 7 Agustus 2019

©Department of Crop Science, Padjadjaran University

Abstract. Fruit is a reproductive organ that plays an important role in plants for plant propagation and seed dispersal. Seeds will be formed due to the process of pollination and fertilization. In some types of fruit, seed in the fruit is not expected, therefore recently many study have been conducted to develop seedless fruit (parthenocarpic fruit). Seedless fruit consists of two main groups namely natural and artificial parthenocarpic. Bananas, tomatoes, and mangosteen are examples of natural parthenocarpic plants. Artificial parthenocarpic fruit can be developed in several methods including the use of plant hormone i.e. auksin or gibberellin, pollen irradiation, changes in chromosome number, gene silencing, gene modification, and genome editing tools. In this review, it is explained about the formation of parthenocarpic fruit through a biotechnology approach.

Keywords: Biotechnology · Natural parthenocarpic · Artificial parthenocarpic · Fruit

Sari. Buah merupakan organ reproduktif yang memainkan peranan penting pada tanaman dalam proses perbanyakan tanaman dan penyebaran biji. Biji akan terbentuk akibat adanya proses polinasi dan fertilisasi. Pada beberapa jenis buah keberadaan biji tidak diinginkan, sehingga sekarang sudah banyak dikembangkan buah tanpa biji atau buah partenokarpi. Secara garis besar partenokarpi terdiri dari dua kelompok utama, yaitu partenokarpi alami dan partenokarpi buatan.

Pisang, tomat, dan manggis merupakan contoh tanaman yang bersifat partenokarpi alami. Pembentukan buah partenokarpi dapat dilakukan melalui beberapa cara diantaranya adalah penggunaan hormone auksin/giberelin, iridiasi polen, perubahan jumlah kromosom, *gene silencing*, modifikasi gen, dan *genome editing tools*. Review ini menjelaskan mengenai pembentukan buah partenokarpi melalui pendekatan bioteknologi.

Kata Kunci: Bioteknologi · Partenokarpi alami · Partenokarpi buatan · Buah

Pendahuluan

Buah adalah salah satu bagian yang memainkan peranan penting pada tanaman. Buah juga merupakan organ yang tepat bagi perkembangan maupun penyebaran biji. Kondisi buah yang normal pada umumnya adalah buah yang terbentuk melalui proses penyerbukan stigma atau kepala putik oleh serbuk sari yang disebut sebagai polen. Penyerbukan yang terjadi secara alami atau *self pollination* dapat dilakukan oleh bantuan angin maupun serangga, sedangkan penyerbukan yang terjadi secara buatan biasanya dilakukan oleh bantuan manusia yang disebut sebagai *cross pollination*. Penyerbukan menyebabkan polen menjadi berkecambah dan membentuk *pollen tube* atau tabung polen untuk menjadi calon *ovule* (bakal biji). Peristiwa terjadinya pertemuan gamet jantan atau polen dengan gamet betina atau calon biji disebut sebagai fertilisasi. Calon buah akan menjadi besar maupun berkembang seiring dengan pembentukan biji, sehingga akan menghasilkan buah dan biji. Pada tanaman jenis tertentu dapat menghasilkan buah tanpa diawali dengan

Dikomunikasikan oleh Suseno Amien

Rezaldi, F.¹, Qonit, M.A.H.², Mubarak, S.², Nuraini, A.², Kusumiyati²

¹ Mahasiswa Bioteknologi, Sekolah Pasca Sarjana, Unpad

² Departemen Budidaya Pertanian, Fakultas Pertanian, Unpad

Korespondensi: syariful.mubarak@unpad.ac.id

proses pembuahan yang bertujuan untuk membentuk buah. Proses tersebut disebut sebagai partenokarpi, sehingga buah yang dihasilkan tanpa biji. Pada beberapa sisi buah yang bersifat partenokarpi ini memiliki kelemahan terutama untuk menghasilkan benih atau biji. Namun disisi lain memiliki kelebihan untuk meningkatkan produk buah yang berkualitas, biasanya tanaman yang memiliki nilai ekonomi tinggi pada kelompok hortikultura. Pada tanaman terung dan *Actinidia*, buah yang dihasilkan dapat meningkatkan kualitas walaupun terbentuk secara partenokarpi (Pardal, 2001). Aspek kualitas buah yang selalu menjadi perhatian konsumen secara mayoritas diantaranya adalah warna, rasa, aroma, serta keberadaan biji pada buah. Konsumen buah terung biasanya menyukai buah yang kurang biji maupun yang tidak mempunyai biji sama sekali dibandingkan buah yang mempunyai banyak biji nya (Zain dkk., 2015).

Proses terjadinya buah partenokarpi dapat terbagi menjadi dua kategori utama, yaitu partenokarpi secara alami dan buatan. Partenokarpi secara alami terdiri dari dua tipe kategori, yaitu obligatif dan fakultatif. Obligatif merupakan tipe partenokarpi yang terjadi apabila disebabkan oleh adanya faktor maupun pengaruh dari luar, sedangkan fakultatif merupakan tipe partenokarpi yang terjadi apabila pengaruh yang berasal dari luar lingkungan tidak dapat menyebabkan proses penyerbukan maupun pembuahan, sehingga tidak cocok untuk dikembangkan maupun diterapkan pada suhu yang ekstrim dan tinggi. Fitohormon merupakan zat pengatur tumbuh (ZPT) pada tanaman yang berperan penting terhadap proses fisiologi tanaman terutama untuk menginduksi terjadinya organ-organ tanaman (Pardal, 2001). Hal tersebut sejalan dengan pernyataan yang diungkap oleh Schwabe dan Milss (1981), yaitu partenokarpi yang terjadi secara buatan dapat dilakukan dengan cara menginduksi melalui fitohormon atau zat pengatur tumbuh (ZPT). Selain itu, dapat dilakukan melalui penyerbukan dengan bantuan polen yang bersifat inkompatibel (Tsao, 1980), dan juga dapat dilakukan dengan cara radiasi melalui bantuan sinar \times (Shozo dan Kelita, 1997). Seiring dengan perkembangan bioteknologi yang semakin terkini partenokarpi dapat dilakukan pula dengan cara menginduksi pada bagian dalam tubuh tanaman (endogen)

melalui teknologi rekayasa genetika. Teknologi rekayasa genetika yang biasanya dilakukan adalah dengan cara menyisipkan gen pengkode partenokarpi. Gen yang telah terbukti untuk menginduksi partenokarpi berupa gen IAA dan giberelin. Kedua gen pengkode partenokarpi tersebut akan tersisip ke dalam genom tanaman targetnya melalui proses transformasi genetik (Barg and Sals, 1996; Rotino *et. al.*, 1999., Li, 1997). Tanaman yang telah dihasilkan melalui teknik rekayasa genetika khususnya yang memiliki gen pengkode partenokarpi disebut sebagai tanaman transgenik. Tanaman transgenik yang memiliki kemampuan untuk mengkode gen partenokarpi biasanya memiliki kemampuan untuk mengekspresikan senyawa auksin pada plasenta maupun bakal biji (Rotino *et. al.*, 1996) dan giberelin yang terjadi nya sebelum proses penyerbukan (Tomes *et. al.*, 1996a).

Rotino *et. al.* (1999), menyarankan sifat partenokarpi yang identik untuk meningkatkan produktivitas khususnya pada tanaman sayuran yang memuaskannya harus memiliki tiga kriteria, diantaranya adalah: dihasilkannya buah-buahan berharga dimana proses yang dilakukan tanpa adanya polinasi; persentase *fruit set* yang berada dibawah cekaman buruk setara dengan kondisi pertumbuhan yang berada dibawah cekaman normal, dan ekspresi secara fenotipik dari sifat tersebut seharusnya tidak menampilkan pengaruh negatif pada kedua karakter tanaman secara intrinsik dan kualitas buah secara ekstrinsik. Selain itu, tiga sifat dari partenokarpi dengan kriteria *multi-pistillate* yang terjadi pada mentimun merupakan sifat yang paling produktif yang harus dieksploitasi terutama pada tingkat komersial. Misalnya pada *C. pepo* sub. *texana* dapat menghasilkan lebih dari satu kuncup betina setiap dari tunas axillary nya, dan melalui proses introgesi gen ini menghasilkan *cocozelle* dan *Zuccini* merupakan bagian dari plasma nutfah yang dapat mengalami peningkatan hasil panen (Paris, 2010).

Beberapa keuntungan yang ditawarkan pada tanaman sayuran yang bersifat partenokarpi, diantaranya adalah keseimbangan dalam skala produksi maupun produktivitas pada proses penyerbukan. Pembuahan sangat dirugikan karena dipengaruhi oleh tekanan lingkungan seperti suhu yang rendah. Tanaman yang memiliki tingkat partenokarpi yang tinggi tidak membutuhkan penyerbukan maupun pemupukan untuk meregulasi buah yang

terbentuk. Permintaan konsumen tentunya akan semakin meningkat pada mentimun, semangka, dan tomat yang telah terbentuk secara partenokarpi (Baker *et. al.*, 1973). Terjadinya peningkatan umur simpan dan kualitas pada tanaman brinjal karena biji yang selama ini dihasilkan menyebabkan rasa pahit setelah buahnya dipanen (Dalal *et al.*, 2006). Buah tanpa biji pada tanaman tomat dapat mengalami peningkatan rasa dan *total soluble solid* (TSS) (Falavigna, *et al.*, 1978; Lukyanenko, 1991). Buah yang terbentuk secara partenokarpi disisi lain juga dapat meningkatkan keuntungan pada skala industri dan menyebabkan daya tarik tinggi untuk dikembangkan pada industri tomat tanpa biji (Lukyanenko, 1991). Partenokarpi juga tidak menimbulkan pengaruh yang dapat menghambat set mahkota pada tanaman mentimun yang bersifat partenokarpi maupun buah-buahan lainnya yang dikembangkan secara berkelanjutan.

Sebagian besar tanaman sayuran yang bersifat partenokarpi dapat dikelompokkan secara luas berdasarkan sifat alaminya dan buatan. Partenokarpi buatan dapat dibagi menjadi enam kelompok utama diantaranya adalah partenokarpi buatan dengan memanfaatkan hormon pertumbuhan tanaman, memanfaatkan sinar iradiasi polen, merubah jumlah kromosom, *Gene Silencing*, Modifikasi gen, dan *Genome Editing Tools* (Rao *et. al.*, 2018).

Partenokarpi Alami

Partenokarpi merupakan proses fertilisasi yang terjadi pada suatu tanaman tanpa adanya polinasi, sehingga buah yang dihasilkan tanpa biji. Istilah ini pertama kali dikemukakan oleh Noll pada tahun 1972 dengan tujuan buah yang terbentuk tanpa polinasi. Hal tersebut sejalan dengan pernyataan yang dikemukakan oleh Winkler (1908), yaitu partenokarpi merupakan proses pembentukan buah tanpa biji sehingga buah yang dihasilkan memiliki jumlah biji yang minim. Menurut Tukey (1954) dan Weaver (1972), perkembangan secara umum yang terkini bahwa partenokarpi didefinisikan sebagai peristiwa pembentukan buah tanpa calon buah. Buah yang terbentuk melalui partenokarpi membutuhkan banyak energi untuk dimanfaatkan dalam proses pembesaran buah. Bukan berarti suatu tanaman memiliki keturunan maupun generasi yang terbentuk

dengan biji. Leopod (1964), mengemukakan bahwa pisang, nanas, tomat, melon, dan ara merupakan buah-buahan yang secara mayoritas bersifat partenokarpi dan mempunyai sel telur pada bagian buah dalam jumlah yang banyak. Jeruk, ketimun, kesemek, ara, pir, anggur, dan pisang merupakan buah-buahan yang mengalami proses partenokarpi secara alami dan biasanya terjadi karena faktor genetik (Avery *et. al.*, 1947). Partenokarpi secara alami selain terjadi karena faktor genetik juga dapat terjadi karena pengaruh lingkungan, yaitu kondisi cuaca berupa kabut yang terjadi secara ekstrim pada bulan Juni. Bulan juni tersebut merupakan salah satu musim sebagai penyebab partenokarpi pada buah zaitun. Pada buah pir terjadi pembekuan di malam hari, dan pada kondisi suhu yang rendah, terutama musim gugur, terjadi pada tanaman terong (Rotino *et. al.*, 1997). Bulan Desember merupakan suatu musim dingin dengan kondisi suhu yang rendah dapat terjadi pada buah tomat (Mohammed, 1998). Selain itu, disebabkan pula dengan adanya bantuan oleh tepung sari dan serangga pada proses penyerbukannya (Nitscb, 1952).

Tahun 1964 Leopod mengelompokkan tiga tipe partenokarpi alami. Tipe tersebut diantaranya adalah perkembangan buah yang terjadi tanpa proses polinasi. Peristiwa tersebut terjadi pada tomat, cabe, waluh, mentimun, pisang, nanas, dan jeruk. Tipe berikutnya adalah pembentukan buah yang diinduksi melalui polinasi, namun untuk proses pertumbuhan berikutnya terjadi tanpa proses fertilisasi. Tipe ini terjadi pada anggrek dan *Poa sp.* Tipe selanjutnya adalah embrio yang mengalami keguguran sebelum buah mencapai fase kematangan, misalnya *cherry*, *peach*, dan anggur.

Partenokarpi alami yang disebabkan faktor genetik terjadi pada beberapa tanaman yang mempunyai kemampuan terbatas. Contohnya adalah tanaman pisang dengan kondisi triploid, tomat, dan manggis. Partenokarpi alami terdiri dari dua tipe, diantaranya adalah tipe obligator dan fakultatif. Obligatior merupakan salah satu tipe partenokarpi yang terjadi tanpa adanya pengaruh yang berasal dari luar, sedangkan fakultatif merupakan salah satu tipe partenokarpi yang terjadi karena adanya pengaruh yang berasal dari luar. Partenokarpi tipe pertama, yaitu obligatif dapat terjadi karena ditandai dengan adanya gen yang berperan sebagai penginduksi maupun penyebab

terjadinya partenokarpi. Contohnya pada tanaman pisang yang secara mayoritas dalam kondisi triploid. Tanaman dengan kondisi triploid merupakan tanaman yang mempunyai peranan sebagai inhibitor mekanisme perkembangan biji maupun embrio dan menyebabkan buah yang dihasilkan tidak berbiji (Pardal, 2001). Menurut Pardal (2001) tomat merupakan tanaman yang bersifat sebagai partenokarpi fakultatif, baik dalam kondisi suhu yang tinggi maupun rendah.

Kasus lain yang terjadi secara alami pada tanaman *coconia* dan beberapa genotipe mentimun menghasilkan buah tanpa biji. Partenokarpi juga diatur oleh faktor lingkungan. Temperatur yang rendah dalam kondisi minus 5°C menyebabkan terjadinya perkembangan buah partenokarpi pada buah paprika. Menurut Falcon *et al.* (2008), para petani yang berada di Brinjal mulai menggunakan partenokarpi pada tahun 1980 akhir. Hal tersebut merupakan bagian dari partenokarpi yang bersifat fakultatif karena hanya dapat dilakukan dalam kondisi dingin sehingga mendukung proses penyerbukan buah dalam kondisi normal. Menurut Fuzhong *et al.* (2005), temperatur yang dapat menginduksi partenokarpi berkisar antara 7 sampai 10°C. Proses eliminasi maupun pemotongan stigma pada kuncup bunga merupakan metode yang mudah diterapkan untuk memperoleh partenokarpi yang terespresi selama proses pemuliaan tanaman (Daunay, 1982; Fuzhong *et al.*, 2005). Manik *et al.* (2000), telah menyelidiki karakter buah partenokarpi yang terjadi pada kakrol berbeda secara genotipe menghasilkan buah partenokarpi yang secara alami dapat menghasilkan jumlah terbanyak pada bunga per tanaman, pertumbuhan vegetatif yang kurang, pembuahan yang berkelanjutan, dan periode panen yang lebih lama.

Partenokarpi Buatan

Proses pembentukan maupun perkembangan pada buah merupakan peranan besar yang banyak didukung melalui kontribusi suatu zat pengatur tumbuh (ZPT). Zat pengatur tumbuh secara alami atau endogen terdapat dalam tubuh tanaman beserta komponen pendukung lainnya. Proses pembelahan sel, peningkatan plastisitas, maupun elastisitas pada dinding sel, regulasi pembungaan hingga pembuahan, merupakan

peranan dari ZPT jenis auksin. Sedangkan giberelin (GA) merupakan ZPT yang berperan dalam menginduksi pertumbuhan jaringan secara meristematis (Weaver, 1972). Auksin yang dihasilkan dari tepung sari secara endogen, merupakan salah satu bukti terbesar yang menunjukkan terjadinya hubungan antara komponen yang dikandung oleh auksin dengan tingkat kegagalan pada proses pembentukan buah (Nitsb, 1950). Menurut Tukey (1954), auksin yang aktif terkandung dalam ovarium untuk membentuk bakal buah berada pada jumlah paling rendah yang dianggap sebagai ambang batas. Hal tersebut terbukti pada hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Bower *et al.* (1978), yaitu terjadinya aktivitas enzim yang berasal dari tabung sari sampai teroksidasinya *indole-3-acetaldehyde* menjadi *3 indole-acetic-acid* (IAA) merupakan bukti dari bagian ambang batas jumlah auksin pada putik yang akan diubah menjadi auksin yang lebih aktif melalui beberapa substansi. Selain itu terbentuknya buah jambu biji secara partenokarpi merupakan salah satu penyebab hubungan yang positif antara kandungan GA dengan GA₃ secara endogen (Rao *et al.*, 2018). Pada buah mentimun untuk pembentukan buah yang bersifat partenokarpi biasanya terinduksi dengan terakumulasi nya jumlah IAA yang terdapat dalam ovarium (Kim *et al.*, 1992). Pembuahan dapat terjadi apabila tepung sari berpolinasi dengan putik, sehingga pembentukan biji dan embrio diiringi dengan pertumbuhan buah. Jaringan meristem, biji, dan embrio merupakan sarana untuk dihasilkannya auksin yang akan menyebar pada bagian tanaman secara keseluruhan (Gustafson, 1939; Nitch, 1952; Coombe, 1960). Menurut Coombe (1960), endosperm merupakan organ tanaman yang dapat menghasilkan konsentrasi auksin paling tinggi. Proses perkembangan dan pertumbuhan buah merupakan pengaruh auksin yang terdapat pada calon buah termasuk ovul (sel telur) atau bagian yang terpusat untuk dieliminasi, sehingga buah akan terbentuk. Proses pembentukan buah dapat terjadi apabila pada bagian yang berongga ditambahkan oleh pasta lanolin, yaitu suatu senyawa yang terbuat dari minyak bumi dan berperan sebagai indikator. Jika senyawa tersebut ditambahkan oleh auksin dari jenis apapun maka akan mengandung komponen auksin. Suplai ZPT yang tidak mencukupi dan juga tidak merata merupakan salah satu penyebab keguguran dan pembentukan buah dengan ukuran kecil yang

berkorelasi positif juga dengan pembentukan biji dan buah yang tidak simetris. Hal ini menunjukkan ZPT yang berperan dalam jumlah sedikit memiliki kemampuan yang tinggi untuk pembentukan partenokarpi. Zat pengatur tumbuh mengganti tepung sari yang mendukung untuk pembentukan buah partenokarpi secara alaminya (Thimann *cit.* Gustafson, 1939; Soedhraoedjian, 1962; Sukamto, 1979; Carmi *et. al.*, 2003).

Polinasi dan pembentukan buah dengan jumlah minim dapat dilakukan pada tanaman tomat yang dibudidayakan dalam rumah kaca ketika musim dingin yang diberi perlakuan fitohormon atau hormon tanaman. Hormon pada tanaman tersebut berperan untuk meningkatkan pembentukan buah yang secara mayoritas tidak menghasilkan biji (Meyer and Anderson, 1952). Buah yang terbentuk secara partenokarpi seperti yang terjadi pada tomat merupakan salah satu upaya yang menarik perhatian maupun bakat bagi para pemuliaan tanaman dalam memanfaatkan ZPT untuk

diterapkan pada berbagai jenis tanaman lainnya. Menurut Suswanto (2002), pemanfaatan GA sebagai ZPT secara umum digunakan untuk pembentukan buah partenokarpi dimana ZPT tersebut banyak dimanfaatkan juga oleh petani anggur partenokarpi yang berasal dari berbagai kultivar anggur penghasil biji. Pembentukan buah partenokarpi yang diberi perlakuan GA dapat menimbulkan pembentukan buah tanpa biji karena tanaman mengalami kendala terhadap pertumbuhan tabung sari sebelum proses fertilisasi, sehingga indikator keberhasilan persilangan biji ini hampir mencapai 100%. Pada penelitian yang dilakukan oleh Annisah (2009), giberelin terbukti dapat memberikan pengaruh terhadap pembentukan buah partenokarpi pada buah semangka dengan konsentrasi giberelin yang berbeda-beda serta menghasilkan hasil yang berbeda pula. Penelitian yang dilakukan oleh Wulandari dkk. (2014), perlakuan oleh hormon giberelin dengan konsentrasi-konsentrasi yang berbeda menyebabkan perubahan secara signifikan, baik

Tabel 1. Aplikasi Pertumbuhan tanaman yang bersifat partenokarpi pada komoditas tanaman sayuran.

Tanaman	Regulasi Pertumbuhan	Tahap Perlakuan	Tipe Partenokarpi	Pustaka
Brinjal	GA ₃ dengan konsentrasi 2700 ppm dan 2,4 D dengan konsentrasi 2.5 ppm	Daun disemprot/ memotong pada tampilan bunga yang baru mekar dalam kondisi terbuka	GA ₃ menginduksi buah tanpa biji dengan lengkap dalam musim yang panjang. 2,4 D menginduksi pengembangan dan generasi benih.	Nothmann and Koller, 1975
Kokrol	2-4-D/2-4-5-T dengan konsentrasi 100 mg/L	Disiram dalam kondisi bunga yang belum mekar	Partenokarpi lengkap	Vijay and Jalikop, 1980
Kokrol	2,4-D dengan konsentrasi 50 ppm	Ketika bunga mekar	90% Partenokarpi	Chowdhury <i>et al.</i> , 2007.
Mentimun	GA dengan konsentrasi 100 mg/L	Disiram sebelum mekar		Choudhury and Phatak, 1958
Mentimun acar	Methylester chlorflurenol (Morphactine) dengan konsentrasi 100 ppm	3 minggu setelah berbunga	Partenokarpi (13 buah per tanaman dan 23 gram setiap buah)	Wiebosch and Berghoef, 1974
Labu botol	CPPU dengan konsentrasi 0.5 mL/L	2 hari sebelum atau setelah mekar	Partenokarpi lengkap	Jing, 1999
Melon air	CPPU dengan konsentrasi 0.5 mL/L		Partenokarpi	Kawamura <i>et al.</i> , 2018
Labu	GA ₃ dengan konsentrasi 150 ppm		96,9% tanpa biji	Sharif Hossain, 2015
Muskmelon	CPPU dengan konsentrasi 10 mg/L dan BA			Hayata <i>et al.</i> , 2000

pada berat buah dan jumlah biji pada buah mentimun varietas mercy. Penelitian yang dilakukan oleh Wijayanto dkk. (2012), menunjukkan bahwa perlakuan dengan menggunakan GA₃ telah memberikan pengaruh secara signifikan pada hasil maupun kualitas buah semangka pada berbagai komponen, diantaranya adalah bobot buah segar, diameter buah, daging buah, dan jumlah biji pada usia 49 hari setelah panen. Sedangkan dosis dengan perlakuan 300 ppm menghasilkan pengaruh terbaik pada peningkatan hasil dan kualitas pasca panen, khususnya pada komponen jumlah biji pada usia 49 hari setelah panen.

Aplikasi hormonal secara eksogen terhadap pertumbuhan tanaman seperti auksin, sitokinin, dan GA₃, secara mayoritas dapat mempengaruhi perkembangan dan pertumbuhan tanaman. Aplikasi pertumbuhan tanaman secara hormonal ini dapat menyebabkan perkembangan buah-buahan yang bersifat partenokarpi pada komoditas tanaman sayuran, seperti disajikan pada Tabel 1.

Pemanfaatan polen secara iradiasi.

Partenokarpi yang semakin lama menjadi bahan perhatian tentunya memiliki keuntungan yang umumnya pada pemanfaatan polen secara iridiasi menggunakan sinar X yang dipancarkan pada botol sehingga buah yang dihasilkan tanpa biji. Buah yang bersifat partenokarpi pada tahapan ini adalah kultivar semangka dengan kondisi diploid. Ketika polen yang berada dalam botol labu itu dimanfaatkan untuk menyerbuki putik bunga pada semangka menghasilkan tingkat *fruit set* sebesar 57,1% dengan semangka yang mengalami polinasi sebesar 65,0%. Buah yang bersifat partenokarpi secara keseluruhan biasanya dihasilkan melalui polinasi dengan menggunakan botol dimana serbuk sari yang terlihat pada botol labu dalam kondisi cacat dengan bentuk segitiga maupun berbentuk lonjong. Hal tersebut tidak mempengaruhi pada berat buah, ketebalan kulit buah, warna daging buah, dan fase breaker dengan buah partenokarpi yang terkontrol. Tidak tersedianya benih dalam kondisi normal kecuali untuk benih putih yang berukuran kecil dapat dihasilkan dari penyerbukan yang diperoleh dari botol labu. Botol labu pada bagian tabung nya tidak dapat mencapai ovarium semangka (Que *et. al.*, 2016). Menurut Sugiyama *et. al.* (2014), menyimpulkan bahwa partenokarpi yang dihasilkan dari polinasi menggunakan botol labu menghasilkan

partenokarpi yang bersifat stimulatif, bukan partenokarpi yang bersifat pseudogami.

Adanya ketertarikan pada studi lain yang mengulas mengenai mekanisme produksi buah tanpa biji setelah polinasi dengan menggunakan sinar x sebesar 600 Gy pada buah semangka. Hasil penelitian menunjukkan bahwa, perlakuan dengan menggunakan radiasi sinar x dengan teliti tidak menyebabkan kerusakan pada dinding sel ketika terjadinya polinasi pada semangka, sehingga proses polinasi dan pemupukan dapat berjalan secara normal. Namun dengan demikian, kromosom heliks ganda pada semangka yang telah dipolinasi mudah mengalami kerusakan, sehingga menghambat proses perkembangan embrionik yang mengarah pada kematian pada embrio dan degenerasi endosperma yang mengarah pada pembentukan buah partenokarpi pada semangka (Qu *et. al.*, 2016).

Perubahan jumlah kromosom. Perkembangan embrio maupun endosperm digabung oleh kondisi triploid yang dimanfaatkan untuk menghasilkan buah partenokarpi. Pada buah semangka tanpa biji, hanya residu integumen diperoleh dari garis keturunan pertama dan tanaman yang dikembangbiakan berasal dari persilangan pada kondisi tetraploid dengan induknya pada kondisi diploid (Kihara, 1951). Eliminasi kromosom pada persilangan yang terjadi secara melebar lebih mengarah pada tanaman yang dihasilkan dalam kondisi haploid, sehingga menimbulkan ketertarikan pada pemulia tanaman. Pembentukan kromosom haploid yang disertai dengan hibridisasi antarspesies disebut sebagai parthenogenesis (Rowe, 1974). Beberapa tanaman dari komoditas sayuran yang bersifat partenokarpi dan berkaitan dengan tingkat ploidi akan dijabarkan pada Tabel 2.

Genome editing tools. Teknik genom editing antara TALENs, ZFNs, dan CRISPR atau Cas9 telah dikembangkan lebih mengarah pada pengembangan teknologi berbasis *sequence nuclease* secara spesifik, termasuk *Zinc Finger Nucleases* atau ZFNs (Kim *et. al.*, 1996), *Transcriptomal Activator- Like Effector Nucleases* (TALENs) (Bogdanove and Voytas, 2011), dan *Most Recently Clustered Regulatory Interspaced Short Palindromic Repeat* (CRISPR) *Associated Protein System* (CRISPR/Cas9) (Doudna and Charpentier, 2014). Metode pengembangan secara cepat pada kultivar sayuran secara partenokarpi dapat dilakukan melalui CRISPR/Cas9.

Tabel 2. Beberapa tanaman komoditas sayuran partenokarpi yang berhubungan dengan tingkat ploidi.

Sayuran	Jenis	Perubahan Lainnya	Nomor Ploidi	Pustaka
Tomat	<i>Solanum esculantum</i> (2n=2x=24)	Peningkatan pada bahan kering dan TSS (<i>Total Soluble Solid</i>)	Triploid (2n=3x=36)	Habashy <i>et al.</i> , 2004; Mackiewicz <i>et al.</i> , 1998
Tomat	<i>Solanum esculantum</i> (2n=2x=24)		Aneuploid	Lesley and Lesley 1941
Mentimun	Cucumis sativus (2n=2x=14) (Amphidiploid x Diploid)		Triploid (2n=3x=21)	Chen <i>et al.</i> , 2003; Habashy <i>et al.</i> , 2004; Mackiewicz <i>et al.</i> , 1998
Mentimun	Kultivar BDR (<i>Butchers Disease Resiting</i>) (2n=4x=28) diberi perlakuan dengan kolkisin sebesar 0,2%		Autotetraploid (2n=4x=28)	Grimbly, 1973
Semangka	<i>Citrus lanatus</i> (2n=22) (Autotetraploid x Diploid)	Kadar gula tinggi, buah yang dihasilkan lebih banyak setiap tanaman nya, dan kulit buah yang diproduksi menjadi tipis	Triploid (2n=3x=33)	Kihara, 1951

Kesimpulan

Partenokarpi merupakan perkembangan buah tanpa proses fertilisasi dan buah yang dihasilkan tanpa biji. Proses terjadinya buah partenokarpi dapat terbagi menjadi dua kategori utama, yaitu partenokarpi secara alami dan buatan. Partenokarpi secara alami terdiri dari dua tipe kategori yaitu obligatif dan fakultatif. Obligatif merupakan tipe partenokarpi yang terjadi apabila disebabkan oleh adanya faktor maupun pengaruh dari luar, sedangkan fakultatif merupakan tipe partenokarpi yang terjadi apabila faktor atau pengaruh dari luar lingkungan tidak sesuai untuk proses penyerbukan dan pembuahan, sehingga tidak cocok untuk dikembangkan maupun diterapkan pada suhu yang terlalu tinggi maupun rendah. Partenokarpi buatan dapat dibagi menjadi enam kelompok utama diantaranya adalah partenokarpi buatan dengan memanfaatkan hormon pertumbuhan tanaman, memanfaatkan sinar iradiasi polen, merubah jumlah kromosom, *gene Silencing*, modifikasi gen, dan *genome editing tools*.

Daftar Pustaka

Annisah, 2009. Pengaruh Induksi Hormon Giberelin terhadap Pembentukan Buah

Partenokarpi pada Beberapa Varietas Tanaman Semangka. Skripsi. Tidak dipublikasikan. Medan: Universitas Sumatera Utara.

- Avery GSJr, EB Johson, RM Addoms and BF Thomson. 1947. Hormones and Horticulture. Is ' Edition. McGraw-Hill Book Company, Inc., New York and London.
- Baker, L. R., Wilson, J. and E. Scott, J. W. 1973 Seedless pickles - a new concept. Farm Science.227: 1-12.
- Barg, R. and Y. Salts. 1996. Method for the induction of genetic parthenocarpy in plants. Application No. IL19960117139. Patent No. W09730165.
- Bogdanove, A.J. and Voytas, D.F.2011.TAL effectors: customizable proteins for DNA targeting. Science. 333:1843-1846.
- Bower PJ, HM Brown and WK Purves. 1978. Cucumber seedling indoleacetaldehyde oxidase. Plant Physiology 61(1), 107-110.
- Carmi, N., Salts, Y., Dedicova, B., Shabtai, S., Barg, R., 2003. Induction of parthenocarpy in tomato via specific expression of the rolB gene in the ovary. Planta. 217: 726-735.
- Chen, J.F., Luo, X.D., Staub, J.E., Jahn, M.M., Qian, C.T., Zhuang, F.Y., Ren G. 2003. An allotriploid derived from a amphidiploid x diploid mating in Cucumis - I: Production, micropropagation and verification. Euphytica. 131: 235-241.

- Choudhury, B. and S. C. Phatak. 1958. Sex expression and fruit development in cucumber (*Cucumis sativus* L) as affected by gibberellin. *Indian Journal of Horticulture*. 16: 233-235.
- Chowdhury, R.N., Rasul, M.G., Islam, A.A., Mian, M.A.K. and Ahmed, J.U. 2007. Effect of plant growth regulators for induction of parthenocarpic fruit in kakrol (*Momordica dioica* Roxb.). *Bangladesh Journal of Plant Breeding and Genetics*. 20(2): 17-22.
- Coombe BC. 1960. Relationship of growth and development to changes in sugars, auxins, and gibberellins in fruit of seeded and seedless varieties of *Vitis vinifera*. *Plant Physiology* 35(2), 241-249.
- Dalal, M., Dani, R.G. and Kumar, P.A. 2006. Current trends in the genetic engineering of vegetable crops. *Scientia Horticulturae*. 107(3):215-225.
- Daunay, M.C. 1981. L'Aubergine. In Rapport d'activité de la station d'Amélioration des plantes maraîchères, Avignon-Montfavet, France.19-23.
- De Jong, M., Wolters-Arts, M., Feron, R., Mariani, C., Vriezen, W.H. 2009. The *Solanum lycopersicum* auxin response factor 7 (SlARF7) regulates auxin signaling during tomato fruit set and development. *Plant journal*.5:160-170.
- Du, L., Bao, C., Hu, T., Zhu, Q., Hu, H., He, Q. and Mao, W., 2016. SlARF8, a transcription factor involved in parthenocarpy in eggplant. *Molecular genetics and genomics*. 291(1): 93-105.
- Falavigna, A. and Rotino, G. L. 2006. Parthenocarpy, a Strategy for Fruit Development under Adverse Environmental Conditions. Seminar Nasional Pemanfaatan Bioteknologi untuk Mengatasi Cekaman Abiotik pada Tanaman.42-51.
- Falavigna, A., Badino, M. and Soressi, G. P. 1978. Potential of the monomendelian factor pat in the tomato breeding for industry. *Genetica Agraria*. 32:159-160.
- Falcon. Munoz. J.E., Prohens. J, Burruezo. Rodríguez. A, and Nuez. F. 2008. Potential of local varieties and their hybrids for the improvement of eggplant production in the open field and greenhouse cultivation. *Journal of Food, Agriculture & Environment* Vol.6 (1) : 83-88.
- Fuzhong, L., Yong, L., Yuhui, C., & Yan, S. (2005). The effect of temperature and bud stage treatment on parthenocarpic gene expression of eggplant. *Acta Horticulturae Sinica*, 32(6), 1021.
- Grimbly, P. E. 1973. Polyploidy in the glasshouse cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Euphytica*. 22(3):479-483.
- Habashy, A.A., Testa, G., Mosconi, P., Caccia, R., Mazzucato, A., Santange-Lo E., Soressi, G.P. 2004. Parthenocarpy restores fruitfulness in sterile triploid (3x) tomatoes artificially obtained by crossing 4x × 2x somaclones. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology*.79: 322-328.
- Hayata, Y., Niimi, Y., Inoue, K., Kondo, S. 2000. CPPU and BA, with and without pollination, affect set, growth and quality of muskmelon fruit. *HortScience*. 35:868– 870.
- Hossain, S, A.B.M. 2015. Seedless Pumpkin vegetable production using gibberellic acid (GA3) as plant hormone and genetically modified technique. *Global Journal of Biology, Agriculture and Health Sciences*.4(3): 6-8.
- Jing, Q.Y. 1999. Parthenocarpy induced by N-(2-chloro-4-pyridyl)-N'-phenylurea (CPPU) prevents flower abortion in Chinese white-flowered gourd (*Lagenaria leucantha*). *Environmental and Experimental Botany*.42: 121-128.
- Kawamura, S., Ida, K., Osawa, M., and Ikeda, T. 2018. No Effect of Seed Presence or Absence on Sugar Content and Water Status of Seeded and Seedless Watermelon Fruits. *HortScience*. 53(3): 304-312.
- Kikuchi, K.H.I., Matsuo, S., Fukuda, M and Saito, T. 2008. Stability of fruit set of newly selected parthenocarpic eggplant lines. *Scientia Horticulturae*. 115: 111- 116.
- Kihara, H. 1951. Triploid water melons. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science*. 58: 217-230.
- Klap, C., Yeshayahu, E., Bolger, A.M., Arazi, T., Gupta, S.K., Shabtai, S. 2017. Tomato facultative parthenocarpy results from SIAGAMOUS-LIKE 6 loss of function. *Plant Biotechnology*. 15: 634-647.
- Kim, Y.G., Cha, J. and Chandrasegaran, S., 1996. Hybrid restriction enzymes: zinc finger fusions to Fok I cleavage domain. *PNAS*. USA, 93:1156-1160.

- Leopold AC. 1964. Plant Growth and Development. McGrawHill Book Company, New York.
- Lesley, M.M. and Lesley, J.W. 1941. Parthenocarpy in a tomato deficient for a part of a chromosome and its aneuploid progeny. *Genetics*. 26:374-386.
- Li, J., Xu, J., Guo, Q.W., Wu, Z., Zhang, T., Zhang, K.J., Cheng, C.Y., Zhu, P.Y., Lou, Q.F. and Chen, J.F. 2017. Proteomic insight into fruit set of cucumber (*Cucumis sativus* L.) suggests the cues of hormone-independent parthenocarpy. *BMC genomics*. 18(1): 896.
- Lin, Z.F., Arciga-Reyes, L., Zhong, S., Alexander, L., Hackett, R., Wilson, I. Grierson, D. 2008. SITPR1, a tomato tetratricopeptide repeat protein, interacts with the ethylene receptors NR and LeETR1, modulating ethylene and auxin responses and development. *Journal of Experimental Botany*. 59:4271-4287.
- Liu, S., Zhang, Y., Feng, Q., Qin, L., Pan, C., Lamin-Samu, A. T. and Lu, G. 2018. Tomato auxin response factor 5 regulates fruit set and development via the mediation of auxin and gibberellin signaling. *Scientific reports*. 8(1): 2971.
- Lukyanenko, A.N. 1991. Parthenocarpy in tomato. In *Monographs on Theoretical and Applied Genetics: Genetics Improvement of Tomato* (Kalloo, G., ed.). 167-178, Springer-Verlag.
- Mackiewicz, H.O., Malepszy, S., Sarreb, D.A., Narkiewicz, M. 1998. Triploids in cucumber: II. Characterization of embryo rescue plants. *Gartenbauwissenschaft*. 63: 125-129.
- Manik, M. N. I., Rasul, M. G., Rahman, M. M., Ozaki, Y and Okubo, H. 2000. Parthenocarpic fruiting behavior in kakrol (*Momordica dioica* Roxb.). *Journal of the Faculty of Agriculture, Kyushu University*. 45(2): 459-463.
- Martínez, C., Manzano, S., Megías, Z., Garrido, D., Picó, B. and Jamilena, M. 2014. Sources of parthenocarpy for Zucchini breeding: relationship with ethylene production and sensitivity. *Euphytica*. 200(3):349-362.
- Meyer, B. S., & Anderson, D. B. (1952). *Plant Physiology*. D. Van Norstrand Co. Inc., New York.
- Mikhailov, L., Georgiev, K.H. 1987. Line RG - a source of parthenocarpy in tomato. *Genet Sel.* 20:70-71.
- Mohammed MF. 1998. Characteristics and inheritance of natural facultative-parthenocarpic fruit-set in 'Nadja' tomato under low temperature conditions. *Euphytica* 103(2), 211-217
- Nitscb JP. 1950. Growth and morphogenesis of the strawberry as related to auxin. *American Journal of Botany* 37, 211-215.
- Nitscb JP. 1952. Plant hormones in the development of fruits. *The Quarterly Review in Biology* 27, 48-51.
- Nothmann, J. and Koller, D. 1975. Effects of growth regulators on fruit and seed development in eggplant (*Solanum melongena* L.). *Journal of Horticultural Science*: 50(1):23-27.
- Pardal, S.J. 2001. Pembentukan buah partenokarpi melalui rekayasa genetika. Balai Penelitian Bioteknologi Tanaman Pangan, Bogor. *Buletin AgroBio* 4(2) : 45-49.
- Paris, H.S. 2010. Multiple flowering as an adaptation of summer squash for growing in protected culture. In: Thies JA, Kousik S, Levi A (eds) *Cucurbitaceae proceedings*. ASHS Press, Alexandria, pp 88-90.
- Pandolfini. T. 2009. Seedless Fruit Production by Hormonal Regulation of Fruit Set. *Nutrients*. 1: 168-177.
- Qu, H.Y., Zhang, C. and Sun, Y. 2016. The mechanism of seedlessness in watermelon generated using soft-X-ray irradiated pollen. *African Journal of Agricultural Research*. 11(25): 2200-2204.
- Rao, P. Gangadhara, B.V.G. Prasad, T.K. Kumar, T.L. Tirupathamma, P. Roshni, and T. Tejaswini. 2018. Breeding for Climate Resilient Parthenocarpic Vegetables. *Int. J. Curr. Microbiol. App.Sci* 7 (11) : 2473-2492.
- Rotino, G.L., H. Sommer, H. Saedler, and A. Spena. 1996. Methods for producing parthenocarpic or female sterile transgenic plants and methods for enhancing fruit setting and development. *Priority Number EPO 96120645.5*.
- Rotino GL, E Perri, M Zottini, H Sommer and A Spena. 1997. Genetic engineering of parthenocarpic plants. *Nature Biotechnology* 15, 1398-1401.
- Rotino, G.L., Donzella, G., Zottini, M., Sommer, H., Ficcadenti, N., Cirillo, C., Sestili, S., Perri, E., Pandolfini, T. and Spena, A. 1999. Genetic engineering of parthenocarpic

- vegetable crops. In *Genetics and Breeding for Crop Quality and Resistance*. (pp. 301-306). Springer, Dordrecht.
- Rowe, P.R. 1974. Parthenogenesis following interspecific hybridization. In: Kasha KJ (ed). *Haploids in higher plants*. Proc 1st Int Symp, Univ Guelph.
- Schijlen, E.G.W.M., de Vos, R.C.H., Martens, S., Jonker, H.H., Rosin, F.M., Molthoff, J.W., Tikunov, Y.M., Angenent, G.C., van Tunen, A.J. Bovy, A.G. RNA.2007. Interference Silencing of Chalcone synthase, the first step in the flavonoid biosynthesis pathway, leads to parthenocarpic tomato fruits. *Plant Physiology*. 144:1520-1530.
- Schwabe, W.W. and J.J. Mills. 1981. Hormones and parthenocarpic fruit set: A literature survey. *Hort. Abstracts* 51:661-698
- Shozo, M. and S. Keita. 1997. Creation of seedless fruit. Patent Application Number JP19970279331. PN JP11103705
- Soedharoedjian. 1962. Beberapa tatanan mengenai usaha-usaha memperoleh buah-buah parthenocarp buatan pada tanaman lombok (*Capsicum annum* L.) dan tomat (*Solanum lycopersicum* L.). In: A Dilmy (Ed.). *Laporan Konggres Ilmu Pengetahuan Nasional*, 323-342. Madjelis Ilmu Pengetahuan Indonesia, Departemen Urusan Research Nasional, Jakarta.
- Sukanto A. 1979. Induksi buah partenocarpi dengan perlakuan beberapa zat pengatur tumbuhan pada tanaman tomat (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Tests. Fakultas Pertanian, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Sugiyama, K., Morishita, M. 2001. A new method for producing diploid seedless watermelon. *ISHS Acta Horticulturae*, 588: II International Symposium on Cucurbits.
- Sugiyama, K., Kami, D., Muro, T. 2014. Induction of parthenocarpic fruit set in watermelon by pollination with bottle gourd (*Lagenaria siceraria* (Molina) Standl.) pollen. *Scientia Horticulture*. 171: 1-5.
- Suswanto A, 2002. Berbahayakah Semangka dan Anggur Tanpa Biji. Diakses dari: <http://inspirasi.bioteknologi.kompas.com/2009/06/semangkadan-anggur-tanpa-biji-doktor.html> pada tanggal 4 Januari 2019.
- Tukey HB 1954. *Plant Regulators in Agriculture*. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Tomes, D.T., B. Huang, and P.D. Miller. 1996b. Genetic constructs and methods for producing fruit with very little or diminished seed. US Patent Application Number 636283. PN: US5773697.
- Tsao, T. 1980. Growth substances: Role in fertilization and sex expression. In Skoog, F. (Ed.). *Plant Growth Substances*. Springer-Verlag, N.Y. p. 345-348.
- Ueta, R., Abe, C., Watanabe, T., Sugano, S.S., Ishihara, R., Ezura, H. 2017. Rapid breeding of parthenocarpic tomato plants using CRISPR/Cas9. *Scientific Reports*. 7: 507.
- Vijay, O. P. and S. H. Jalikop. 1980. Production of parthenocarpic fruit by growth regulators in kakrol (*Momordica cochinchinensis* Spreng). *India Journal of Horticulture*. 37(2): 167-169.
- Wang, H., Jones, B., Li, Z., Frasse, P., Delalande, C., Regad, F., Chaabouni, S., Latché, A., Pech, J.C., Bouzayen, M. 2005. The tomato Aux/IAA transcription factor IAA9 is involved in fruit development and leaf morphogenesis. *Plant Cell*. 17: 2676-2692
- Weaver RJ. 1972. *Plant Growth Substances in Agriculture*. WH Freeman and Company, San Francisco.
- Wiebosch, W. A. and Berghoef, J. 1974. Parthenocarpic fruiting in pickling cucumber induced by chlorflurenol. *Meded. Fak. Landb. Genetics*. 39:625-635.
- Wijayanto T, Yani. R.O.W., dan Arsana. W. Made. 2012. Respon hasil dan jumlah buah semangka (*Citrullus vulgaris*) dengan aplikasi hormone giberelin (GA3). *Jurnal Agroteknos*. Vol 2 (1) : 57-62.
- Wulandari D. Cahyani, Rahayu Y. Sri, Ratnasari E. 2014. Pengaruh Pemberian Hormon Giberelin terhadap Pembentukan Buah secara Partenokarpi pada Tanaman Mentimun Varietas Mercy. *Lentera Bio. LenteraBio* Vol. 3 (1).
- Yin, Z., Malinowski, R., Ziółkowska, A., Sommer, H., Pläder, W., Malepszy, S. 2006. The DefH9-iaaM-containing construct efficiently induces parthenocarpy in cucumber. *Cell and molecular biology letters*. 11: 279-290
- Zain, R.A., Basri, Z., Lapanjang, I. 2015. Pembentukan buah terung (*Solanum melongena* L) Partenokarpi melalui aplikasi berbagai konsentrasi giberelin. *Jurnal Sains dan Teknologi Tadulako*, 4 (2) : 60-67