

Cekaman Kekeringan Berat Mempengaruhi Keberhasilan Induksi Bunga Jeruk Keprok Madura

Severe Drought Stress Influences the Success of Madura Tangerine Flower Induction

Resa Sri Rahayu¹, Roedhy Poerwanto^{2*}, Darda Efendi², dan Winarso Drajad Widodo²

Diterima 01 Agustus 2019/Disetujui 05 Februari 2020

ABSTRACT

Off-season tangerines flower induction through drought stress is one of the efforts to meet the availability of tangerines throughout the year. The level of drought stress that can induce flowering has a certain threshold so that severe stress can affect the success of flower induction. This study aims to prove that severe drought stress can affect the success of induction of Madura lowland tangerines. The study was conducted in the PKHT-IPB Tajur Experimental Field with ± 300 meter above sea level from March-October 2017. The experiment used a Randomized Block Design (RBD) with one factor, namely the level of drought stress with three levels: without drought stress as control (routine irrigation with 100% field capacity water content), 50% field capacity water content drought stress (no irrigation to 50% field capacity water content) and 40% field capacity water content drought stress (no irrigation to 40% field capacity water content). The results showed that the water content of 50% and 40% of the field capacity did not induce Madura tangerine flower as evidenced by very high levels of gibberellins. 50% and 40% field capacity water content is too low that caused the plants experienced a severe drought stress and disrupted the flower induction process. The severe drought stress is characterized by high leaf and soil water potential, high leaf proline content, decreased stomata density, and leaf rolling.

Keywords: field capacity water content, lowland tangerine, off-season, Randomized Block Design (RBD), rewatering

ABSTRAK

Induksi bunga jeruk keprok di luar musim melalui cekaman kekeringan merupakan salah satu upaya memenuhi ketersediaan buah jeruk keprok sepanjang tahun. Tingkat cekaman kekeringan yang dapat menginduksi bunga memiliki ambang batas tertentu sehingga cekaman yang terlalu berat dapat mempengaruhi keberhasilan induksi bunga. Penelitian ini bertujuan membuktikan bahwa cekaman kekeringan yang terlalu berat dapat mempengaruhi keberhasilan induksi bunga jeruk keprok dataran rendah varietas Madura. Penelitian dilaksanakan di Kebun Percobaan Tajur PKHT-IPB dengan ketinggian ± 300 mdpl dari bulan Maret-Oktober dan dirancang dengan Rancangan Acak Kelompok (RAK) satu faktor yaitu tingkat cekaman kekeringan dengan tiga taraf: tanpa cekaman kekeringan sebagai kontrol (pengairan rutin dengan 100% kadar air kapasitas lapang), cekaman kekeringan 50% kadar air kapasitas lapang (tanpa pengairan sampai 50% kadar air kapasitas lapang) dan cekaman kekeringan 40% kadar air kapasitas lapang (tanpa pengairan sampai 40% kadar air kapasitas lapang). Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar air 50% dan 40% dari kapasitas lapang tidak menginduksi bunga jeruk keprok Madura yang dibuktikan dengan kadar giberelin yang sangat tinggi. Kadar air 50% dan 40% dari kapasitas lapang terlalu rendah sehingga tanaman mengalami cekaman kekeringan berat dan mengganggu proses induksi bunga. Cekaman kekeringan berat tersebut ditandai dengan potensial air daun dan tanah yang tinggi, kadar prolin daun tinggi, kerapatan stomata menurun, dan daun menggulung.

Kata kunci: jeruk keprok dataran rendah, kadar air kapasitas lapang, luar musim, Rancangan Acak Kelompok (RAK), *rewatering*

¹Pusat Penelitian Biologi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia

Jl. Raya Jakarta – Bogor, KM. 46 Cibinong, Bogor 16911, Indonesia

²Departemen Agronomi dan Hortikultura, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor

Jl. Meranti Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680, Indonesia

E-mail : roedhy8@yahoo.co.id (*penulis korespondensi)

PENDAHULUAN

Jeruk keprok dataran rendah merupakan salah satu komoditi yang perlu dikembangkan untuk substitusi jeruk impor di pasar buah nasional karena memiliki dua keunggulan, yaitu merupakan jenis keprok (*Citrus reticulata* Blanco) seperti sebagian besar jeruk impor yang didominasi jenis keprok dan dapat ditanam di dataran rendah yang ketersediaan lahannya lebih luas dibandingkan dengan dataran tinggi di Indonesia. Jeruk keprok lokal Indonesia merupakan salah satu jenis jeruk yang memiliki karakter unggul yaitu ukuran buah besar, aroma buah khas, kulit buah tebal, warna kulit buah sebagian besar kuning-oranye, kulit dan juring buah mudah dilepas (Balitjestro, 2016) sehingga memiliki potensi besar untuk dikembangkan dengan baik dan menjadi pesaing jeruk impor. Salah satu jenis jeruk keprok dataran rendah yang dapat dikembangkan untuk substitusi jeruk impor adalah jeruk keprok varietas Madura.

Pembungaan pada tanaman jeruk, termasuk jeruk keprok, dibagi ke dalam tiga tahapan besar, yaitu induksi kuncup bunga (induksi bunga), transisi dari induksi bunga ke diferensiasi bunga, dan perkembangan organ bunga (Albrigo *et al.*, 2002). Tahapan pertama dalam pembungaan yaitu induksi bunga dipengaruhi oleh cekaman kekeringan di lingkungan tropika (Moss, 1969) dan oleh suhu rendah di wilayah subtropika (Valiente dan Albrigo, 2004). Jeruk keprok yang tumbuh di Indonesia yang merupakan lingkungan tropika, secara umum berbuah satu kali setahun karena induksi pembungaan dipengaruhi oleh periode kering yang dirasakan tanaman sebagai cekaman kekeringan (Takeno, 2016). Hal tersebut menjadi kendala karena buah jeruk keprok segar hanya akan tersedia di pasaran selama periode panen yaitu selama 2-3 bulan dalam satu tahun sehingga tidak dapat memenuhi permintaan konsumen sepanjang tahun.

Cekaman kekeringan merupakan salah satu metode induksi bunga di luar musim yang telah banyak diteliti dan mudah diaplikasikan di dataran rendah Indonesia. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa perlakuan cekaman kekeringan mampu menginduksi bunga jeruk dengan jumlah yang lebih banyak dibandingkan dengan kontrol dan perlakuan lainnya. Penelitian yang telah dilakukan oleh

Koshita dan Takahara (2004) dengan hasil yang menunjukkan bahwa cekaman kekeringan ringan dan berat meningkatkan persentase tunas generatif lebih besar dibandingkan dengan tunas vegetatif.

Cekaman kekeringan dapat menjadi salah satu upaya membungakan jeruk keprok di luar musim sehingga dapat menjaga ketersediaan buah jeruk keprok di pasar sepanjang tahun. Aplikasi teknik cekaman kekeringan harus memperhatikan ambang batas tingkat cekaman kekeringan yang dapat menginduksi bunga untuk menghindari penurunan produksi bunga, pengaruh negatif akibat cekaman kekeringan, kegagalan induksi bunga dan kematian tanaman akibat cekaman kekeringan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan membuktikan bahwa cekaman kekeringan yang telah melewati ambang batas tingkat cekaman yang dapat menginduksi bunga atau cekaman kekeringan yang terlalu berat dapat mempengaruhi keberhasilan induksi bunga jeruk keprok dataran rendah varietas Madura.

BAHAN DAN METODE

Penelitian dilaksanakan di Kebun Percobaan Tajur, Pusat Kajian Hortikultura Tropika Institut Pertanian Bogor (PKHT IPB) Kota Bogor dengan ketinggian ± 300 meter di atas permukaan laut (mdpl) dari bulan Maret sampai Oktober 2017.

Bahan yang digunakan pada percobaan adalah tanaman jeruk keprok dataran rendah varietas Madura (*Citrus reticulata* Blanco cv. Madura) hasil okulasi dengan batang bawah *Japanche citroen* (JC) umur satu tahun dengan tinggi ± 80 cm dan memiliki 2-4 cabang primer. Tanaman tersebut diperoleh dari kebun bibit Balai Penelitian Tanaman Jeruk dan Buah Subtropika (Balitjestro). Tanaman jeruk hasil okulasi merupakan tanaman yang sudah melewati fase juvenil (muda) dan siap berbunga. Tanaman jeruk ditanam dalam polibag ukuran 30 x 15 x 40 cm dan diletakkan di dalam *screenhouse*.

Percobaan dilakukan dengan menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) satu faktor yaitu tingkat cekaman kekeringan. Faktor tersebut terdiri atas tiga taraf: tanpa cekaman kekeringan sebagai kontrol (irigasi rutin dengan 100% kadar air

kapasitas lapang, K1), cekaman kekeringan hingga 50% kadar air kapasitas lapang (tidak diirigasi sampai kadar air mencapai 50% kadar air kapasitas lapang, K2) dan cekaman kekeringan hingga 40% kadar air kapasitas lapang (tidak diirigasi sampai kadar air mencapai 40% kadar air kapasitas lapang, K3). Masing-masing taraf diulang sebanyak tiga kali dengan empat tanaman per ulangan sehingga total terdapat 36 tanaman atau 36 satuan percobaan (1 tanaman setiap satu satuan percobaan). Data yang diperoleh dianalisis menggunakan uji F dan uji lanjut Beda Nyata Terkecil (BNT) pada taraf 5% dengan menggunakan perangkat lunak *Statistical Analysis System 9.1* (SAS 9.1) (Mattjik dan Sumertajaya, 2013).

Penentuan tingkat cekaman kekeringan dilakukan dengan menentukan kadar air kapasitas lapang dari volume tanah dalam polibag. Tanah dalam polibag disiram air secara perlahan sampai air keluar dari ujung polibag (air perkolasi keluar dari polibag). Tanah tersebut dидiamkan selama 12 jam untuk memastikan air perkolasi habis dan air yang tersisa hanya air yang dipegang oleh tanah. Nilai kadar air tanah didapatkan dari persentase bobot kering terhadap bobot basah tanah. Nilai kadar air tanah yang didapatkan merupakan nilai kadar air kapasitas lapang. Nilai 100% kadar air kapasitas lapang pada percobaan ini adalah 31.34% kadar air aktual. Pada awal percobaan, 36 tanaman jeruk keprok Madura memiliki nilai kadar air yang sama yaitu kadar air kapasitas lapang. 36 tanaman tersebut kemudian dibagi ke dalam tiga perlakuan dengan masing-masing perlakuan terdiri atas 12 tanaman (3 ulangan x 4 tanaman/ulangan). Perlakuan pertama (K1) merupakan perlakuan tanpa cekaman kekeringan sebagai kontrol, dimana kadar air tanahnya dijaga tetap dalam keadaan 100% kadar air kapasitas lapang sampai akhir percobaan dengan cara menyiram tanaman setiap hari sampai air perkolasi keluar dari polibag. Perlakuan kedua (K2) merupakan perlakuan cekaman kekeringan hingga 50% kadar air kapasitas lapang. Kondisi tersebut diperoleh dengan cara tidak melakukan penyiraman pada tanah (media tanam dalam polibag) sampai kadar air tanah mencapai nilai 50% kadar air kapasitas lapang yaitu 15.67% kadar air aktual. Kondisi cekaman kekeringan tersebut diperoleh setelah 72 hari tanaman tidak mendapat pengairan. Perlakuan ketiga (K3)

merupakan perlakuan cekaman kekeringan hingga 40% kadar air kapasitas lapang. Kondisi tersebut diperoleh dengan cara tidak melakukan penyiraman pada tanah (media tanam dalam polibag) sampai kadar air tanah mencapai nilai 40% kadar air kapasitas lapang yaitu 12.54% kadar air aktual. Kondisi cekaman kekeringan tersebut diperoleh setelah 141 hari tanaman tidak mendapat pengairan. Tanaman yang telah mengalami cekaman kekeringan (K2 dan K3) kemudian diberi pengairan kembali (*rewatering*) sampai air perkolasi keluar dari polibag untuk memulihkan kondisi tanaman.

Parameter pengamatan yang diamati pada percobaan ini dibagi ke dalam dua kelompok. Kelompok pertama adalah parameter yang mengindikasikan keberhasilan induksi bunga jeruk keprok Madura melalui cekaman kekeringan yaitu kandungan giberelin daun, kandungan C-organik daun, kandungan N-total daun, dan C/N rasio daun. Parameter pengamatan pada kelompok pertama diamati pada hari ketiga setelah tanaman mendapat pengairan kembali (*rewatering*) setelah mengalami cekaman kekeringan (K2 dan K3) serta pada minggu ke-10 setelah pengairan rutin pada tanaman K1. Kelompok kedua adalah parameter yang menentukan kondisi cekaman kekeringan tanaman jeruk keprok Madura yaitu potensial air daun, potensial air tanah, persentase gulung daun, kandungan prolin daun, kandungan klorofil, ukuran stomata, dan kerapatan stomata. Parameter pengamatan pada kelompok kedua diamati pada saat tanaman mengalami cekaman kekeringan (K2 dan K3) serta pada minggu ke-10 setelah pengairan rutin pada tanaman K1. Metode pengambilan data setiap parameter pada percobaan ini adalah sebagai berikut.

1) Hormon Giberelin

Analisis kandungan giberelin mengacu pada metode yang dilakukan oleh Barendse dan Werken (1980) dengan menggunakan alat *High Performance Liquid Chromatography* (HPLC).

2) C-Organik, N-Total, dan C/N Rasio

Analisis C-organik dan N-total mengacu pada metode yang dilakukan oleh Eviati dan Sulaeman (2009) dengan menggunakan spektrofotometer. C/N rasio merupakan nilai dari C-organik dibagi dengan N-total.

- 3) Potensial Air Tanah dan Daun
Pengukuran potensial air tanah dan daun dilakukan menggunakan alat *Dewpoint Potential Meter* WP4.
- 4) Gulung Daun
Persentase gulung daun dihitung dengan menghitung selisih lebar daun saat menggulung dengan lebar daun saat normal menggunakan rumus $(D_n - D_g) / D_n \times 100\%$ dengan D_n = lebar daun saat normal; D_g = lebar daun saat menggulung.
- 5) Prolin
Analisis kandungan prolin mengacu pada metode yang dilakukan oleh Bates *et al.* (1973) dengan menggunakan spektrofotometer. Konsentrasi prolin dihitung dengan rumus : $[(\mu\text{g prolin ml}^{-1} \times \text{ml toluene}) / 115.5 \mu\text{g } \mu\text{mol}^{-1}] / [(g \text{ sampel}) / 5] = \mu\text{mol prolin g}^{-1}$ berat segar daun.
- 6) Klorofil
Analisis kandungan klorofil mengacu pada metode yang dilakukan oleh Mackinney (1941) dengan menggunakan spektrofotometer. Kandungan klorofil dihitung dengan persamaan Lichtenthaler (1987) untuk aseton 100% sebagai berikut. $C_{a+b} = 7.05 (A_{662}) + 18.09 (A_{645})$ dengan C_{a+b} = klorofil total; A_{662} = absorban pada $\lambda 662$; A_{645} = absorban pada $\lambda 645$.
- 7) Ukuran dan Kerapatan Stomata
Pengamatan ukuran dan kerapatan stomata mengacu pada metode yang dilakukan oleh Moore *et al.* (2008) yaitu dengan metode sederhana pengolesan cat kuku akrilik. Ukuran stomata dihitung menggunakan rumus perhitungan luas elips yaitu $r(p) \times r(l) \times \pi$ dengan $r(p)$ = jari-jari panjang stomata, $r(l)$ = jari-jari lebar stomata, $\pi = 3.14$. Kerapatan stomata dihitung menggunakan rumus jumlah stomata dibagi luas bidang pandang dengan perbesaran 40 kali (luas bidang pandang = 0.196 mm^2).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perlakuan cekaman kekeringan tidak memunculkan tunas generatif dan bunga, baik pada tanaman kontrol (K1) maupun pada tanaman yang mendapatkan cekaman kekeringan (K2 dan K3). Tunas yang muncul pada tanaman K1 dan K2 adalah tunas

vegetatif, sementara tanaman K3 mengalami layu permanen pada bagian batang atas sehingga tidak menghasilkan tunas baru setelah *rewatering* (Gambar 1). Induksi bunga diharapkan terjadi pada saat tanaman jeruk mengalami cekaman kekeringan sebagai respon pertahanan diri dan *rewatering* (pengairan kembali setelah perlakuan cekaman kekeringan) menjadi modal awal untuk proses pembungaan selanjutnya setelah induksi bunga.

Pembungaan pada tanaman jeruk hanya akan terjadi pada tanaman yang telah melewati fase juvenil (muda) atau telah dewasa dan tanaman jeruk keprok Madura yang digunakan pada penelitian ini adalah tanaman yang telah dewasa dan siap berbunga. Tanaman jeruk yang digunakan pada penelitian ini merupakan tanaman hasil okulasi, yaitu tanaman yang dihasilkan dari sambungan dua jenis jeruk. Batang bawah sambungan tersebut merupakan jenis jeruk *Japanche citroen* (JC) yang ditanam dari biji, sementara batang atasnya merupakan jenis jeruk keprok Madura yang diambil dari cabang pohon induk yang telah dewasa. Hal tersebut menunjukkan bahwa tanaman jeruk keprok Madura hasil okulasi tersebut merupakan tanaman dewasa yang sama seperti pohon induknya.

Percobaan pendahuluan yang dilakukan terhadap tanaman jeruk keprok Madura hasil okulasi umur 1 tahun setelah okulasi dengan aplikasi zat anti giberelin berupa paclobutrazol dengan dosis 2 g L^{-1} yang disiramkan pada media tanah dalam pot berhasil memunculkan bunga pada beberapa tanaman. Hal tersebut menunjukkan bahwa tanaman jeruk keprok Madura hasil okulasi umur 1 tahun setelah okulasi merupakan tanaman yang telah melewati fase juvenil dan dapat berbunga. Menurut Davenport (1990), induksi bunga, termasuk induksi bunga jeruk, merupakan suatu mekanisme aktivasi yang terjadi pada tunas tanaman setelah berinteraksi dengan kondisi lingkungan eksogen atau faktor endogen tanaman yang dilanjutkan dengan aktivitas sel meristem untuk berlanjut ke tahapan pembungaan selanjutnya. Kegagalan kemunculan bunga pada tanaman yang telah diberi perlakuan cekaman kekeringan dapat terjadi pada setiap tahapan pembentukan bunga.



Gambar 1. Kondisi tanaman jeruk keprok Madura selama perlakuan.

A= tanpa cekaman kekeringan (K1); B= cekaman kekeringan 50% kadar air kapasitas lapang (K2); C= K2 setelah *rewatering*; D= *flushing* (tanda '→') pada K2 setelah *rewatering*; E= *flushing* dewasa (tanda '←') pada K2 setelah *rewatering*; F= cekaman kekeringan 40% kadar air kapasitas lapang (K3); G= K3 setelah *rewatering*; H= batang utama mati (tanda '→') dan batang bawah *flushing* (tanda '←') pada K3 setelah *rewatering*.

Kegagalan dapat terjadi karena tidak terjadinya induksi bunga, tidak berhasilnya proses transisi dan diferensiasi tunas serta dapat terjadi pada tahapan terakhir yaitu kegagalan pada perkembangan organ bunga. Faktor-faktor yang diduga menjadi penyebab gagalnya pembungaan jeruk keprok Madura pada percobaan ini adalah kadar giberelin pada tanaman menghambat induksi bunga dan tanaman mengalami cekaman kekeringan yang terlalu berat (*over stress*) melebihi ambang batas cekaman kekeringan yang dapat menginduksi bunga.

1) Kadar Giberelin pada Tanaman Menghambat Induksi Bunga

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kandungan giberelin pada daun tanaman K1 tidak berbeda nyata dengan K2, namun berbeda nyata dengan K3, sementara K2 berbeda nyata dengan K3. Nilai kandungan giberelin tersebut, baik yang tidak berbeda

nyata maupun yang berbeda nyata dengan K1, jauh lebih tinggi daripada nilai kandungan giberelin yang dibutuhkan untuk induksi bunga jeruk. Kandungan giberelin yang dibutuhkan untuk induksi bunga jeruk adalah sekitar 0.1 ppm (Koshita dan Takahara, 2004), sementara pada penelitian ini mencapai 94.35 – 163.12 ppm (Tabel 1). Proses induksi bunga melibatkan perubahan fitohormon dan rasio karbon-nitrogen (C/N rasio) pada tanaman. Giberelin merupakan salah satu fitohormon yang merupakan hormon penghambat proses pembungaan pada tanaman jeruk (Davenport, 2000). Kandungan giberelin yang tinggi menunjukkan sebagai respon terhadap kekeringan dapat menghambat proses pembungaan, sementara kandungan giberelin yang rendah menunjukkan proses pembungaan tidak terhambat dan dapat terjadi. Hal tersebut menunjukkan bahwa kandungan giberelin pada tanaman di penelitian ini menghambat terjadinya proses induksi bunga.

Tabel 1. Parameter keberhasilan induksi bunga jeruk keprok Madura^a

Perlakuan	Giberelin (ppm) ^{b),c)}	C-Organik (%) ^{b)}	N-Total (%) ^{b)}	C/N Rasio ^{b),d)}
K1	94.35 b	40.62 a	2.34 b	17.40 a
K2	95.71 b	40.71 a	3.98 a	10.23 b
K3	163.12 a	37.03 b	3.83 a	9.67 b

Keterangan : ^{a)}Data diambil pada hari ke-72 irigasi rutin untuk K1, hari ke-72 tanpa irigasi untuk K2 dan hari ke-141 tanpa irigasi untuk K3; ^{b)}Angka-angka pada kolom yang sama dan diikuti oleh huruf yang sama tidak berbeda nyata sedangkan yang diikuti oleh huruf tidak sama berbeda nyata pada taraf uji 5% (uji Beda Nyata Terkecil). ^{c)}ppm= part per million. ^{d)}C/N rasio= C-Organik/N-Total.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa C/N rasio pada daun tanaman, baik K1 maupun K2 dan K3, memiliki nilai yang tinggi dibandingkan dengan hasil penelitian sebelumnya mengenai induksi bunga. Hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Phadung *et al.*, (2011) menunjukkan bahwa nilai C/N rasio pada tanaman yang diinduksi bunganya melalui perlakuan stres air adalah 4 pada kontrol, 7 pada saat *pra-rewatering* dan *after-rewatering*, dan 4.5 pada saat *flushing*, sementara pada hasil penelitian ini adalah 9.50 – 18.23 dengan hasil yang berbeda nyata antara K2, K3 dengan K1, namun tidak berbeda nyata antar perlakuan. Kandungan C-organik pada penelitian ini juga menunjukkan hasil yang tinggi dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Gracia-Luis *et al.* (1995); Monerri *et al.* (2011); dan Dovis *et al.* (2014) dengan nilai karbohidrat nonstruktural pada saat pembungaan adalah sekitar 8 – 25%, sementara pada penelitian ini mencapai nilai 37.09 – 40.71% (Tabel 1).

C/N rasio merupakan rasio kandungan karbon organik dan nitrogen total pada tanaman. C/N rasio pada penelitian ini difokuskan pada daun tanaman jeruk keprok Madura. Karbon yang tersimpan pada daun sebagian besar akan ditranslokasikan ke tunas yang sedang mengalami proses pembungaan karena proses pembungaan merupakan *sink* yang paling kuat pada tanaman (Dovis *et al.*, 2014) sehingga kadar karbon dalam daun diharapkan berkorelasi positif dengan keberhasilan proses pembungaan, sementara nitrogen dalam tanaman, baik yang berasal dari tanah, penyimpanan di batang maupun di daun, sebagian besar ditranslokasikan ke daun muda dan bagian vegetatif tanaman lainnya yang sedang tumbuh (Dickson, 1989) sehingga nilai N yang tinggi akan memacu pertumbuhan vegetatif dan menghambat pertumbuhan

generatif seperti pembungaan. Nilai C-organik dan C/N rasio yang tinggi merupakan modal untuk perkembangan generatif tanaman jeruk, namun total giberelin tetap menjadi faktor penghambat dalam proses pembungaan tanaman jeruk. Hal tersebut didukung dengan hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Goldschmidt *et al.* (1985) bahwa giberelin dan karbohidrat merupakan dua regulator pembungaan yang bekerja secara independen dan pengaruhnya tidak terkait satu sama lain. Hal tersebut juga sesuai dengan salah satu teori pembungaan klasik yang dikemukakan oleh Bernier *et al.* (1981) bahwa tanaman tidak akan pernah berbunga sampai faktor yang menghambatnya dihilangkan. Dalam hal ini, faktor penghambat pembungaan tanaman jeruk adalah giberelin.

2) Tanaman Mengalami Cekaman Kekeringan yang Terlalu Berat (*Over Stress*)

Kondisi cekaman kekeringan pada tanaman jeruk keprok Madura ditentukan oleh beberapa parameter, yaitu potensial air tanah, potensial air daun, persentase gulung daun, kandungan prolin daun, kandungan klorofil daun, serta ukuran dan kerapatan stomata.

Potensial Air Tanah dan Daun

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai potensial air tanah tanaman K2 dan K3 berbeda nyata dan memiliki nilai yang jauh lebih negatif daripada K1 (Tabel 2). Hal yang sama terjadi pada nilai potensial air daun. Potensial air daun tanaman jeruk yang mengalami cekaman kekeringan pada K2 maupun K3 memiliki nilai yang lebih negatif dan berbeda nyata daripada K1 dan K3 memiliki nilai potensial air daun yang lebih negatif daripada K2 (Tabel 2).

Tabel 2. Potensial air daun dan tanah jeruk keprok Madura^a

Perlakuan	Potensial Air Daun (MPa) ^{b),c)}	Potensial Air Tanah (MPa) ^{b),c)}
K1	-4.19 c	-0.12 b
K2	-10.83 b	-18.32 a
K3	-42.71 a	-23.55 a

Keterangan : ^{a)}Data diambil pada hari ke-72 irigasi rutin untuk K1, hari ke-72 tanpa irigasi untuk K2 dan hari ke-141 tanpa irigasi untuk K3; ^{b)}Angka-angka pada kolom yang sama dan diikuti oleh huruf yang sama tidak berbeda nyata sedangkan yang diikuti oleh huruf tidak sama berbeda nyata pada taraf uji 5% (uji Beda Nyata Terkecil); ^{c)}MPa= Megapascal.

Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa nilai potensial air daun tanaman jeruk yang tercekam kekeringan dan dapat menginduksi bunga adalah -2.17 MPa (Phadung *et al.*, 2011) dan sekitar -1 MPa (Koshita dan Takahara, 2004). Hal tersebut menunjukkan bahwa nilai potensial air tanah dan daun tanaman pada K2 dan K3 pada penelitian ini telah mengalami cekaman kekeringan yang sangat berat (sangat tercekam) melebihi nilai potensial air untuk induksi bunga.

Potensial air merupakan energi pendorong pergerakan air dalam tanah (potensial air tanah) atau tanaman (potensial air daun). Nilai potensial air menunjukkan tekanan yang dibutuhkan untuk mengalirkan sejumlah volume air (Jarvis, 1976). Nilai potensial air dipengaruhi oleh kandungan senyawa-senyawa yang terlarut di dalam air. Semakin tinggi senyawa yang terlarut maka nilai potensial air semakin negatif dan hubungan antara kelarutan senyawa tersebut berkorelasi negatif dengan kandungan air. Semakin tercekam tanaman maka nilai potensial airnya semakin negatif.

Kandungan Prolin Daun

Hasil penelitian menunjukkan bahwa tanaman K2 dan K3 mengakumulasi prolin lebih tinggi dibandingkan dengan K1. Kandungan prolin pada K2 sebesar 18.57 $\mu\text{mol g}^{-1}$ dan 13.27 $\mu\text{mol g}^{-1}$ pada K3 (Tabel 3). Tanaman yang mengalami cekaman kekeringan akan mengalami perubahan fisiologi dan fungsi biokimianya, salah satunya adalah perubahan kandungan prolin. Prolin merupakan salah satu asam amino yang menjadi indikator respon tanaman terhadap cekaman kekeringan (Keyvan, 2010). Tanaman yang tercekam kekeringan akan mengakumulasi prolin dan akumulasi prolin tersebut berkorelasi positif dengan tingkat




beratnya cekaman. Semakin berat cekaman maka akumulasi prolin akan semakin tinggi (Campos-Rivero *et al.*, 2017). Prolin yang terakumulasi pada sitoplasma sel tanaman berfungsi sebagai pelindung sel dari aktivitas yang melibatkan konsentrasi air yang rendah (osmoprotektan) dan pelindung sel dari kerusakan akibat pembekuan (krioprotektan) (Nolte dan Hanson, 1997). Prolin juga merupakan salah satu senyawa yang diakumulasi tanaman sebagai pengatur konsentrasi cairan dalam sel dan penyeimbang keluar masuknya cairan dalam sel (osmoregulator) yang dianggap sebagai mekanisme toleransi yang penting untuk pemeliharaan sel (Medeiros *et al.*, 2012).

Kandungan Klorofil Daun

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kandungan klorofil total secara umum berkorelasi negatif dengan cekaman kekeringan (Tabel 3), walaupun kandungan klorofil pada tanaman K2 tidak berbeda nyata dengan K1. Hasil tersebut sejalan dengan hasil-hasil penelitian sebelumnya yaitu cekaman kekeringan menyebabkan penurunan kandungan klorofil total pada daun tanaman (Xie *et al.*, 2016).

Klorofil merupakan salah satu komponen utama kloroplas untuk fotosintesis dan kandungan klorofil relatif berkorelasi positif dengan laju fotosintesis (Peiguo dan Mingqi, 1996). Penurunan kandungan klorofil pada daun tanaman yang mengalami cekaman kekeringan dianggap sebagai gejala khas stres oksidatif dan diduga merupakan akibat dari foto-oksidasi pigmen dan degradasi klorofil (Farooq *et al.*, 2009). Penurunan kandungan klorofil juga dikaitkan dengan hilangnya membran kloroplas, pembengkakan yang berlebihan, distorsi vesikula lamela, dan munculnya tetesan lipid (Kaiser *et al.*, 1981).

Tabel 3. Peubah status cekaman kekeringan tanaman jeruk keprok

Perlakuan	Prolin ($\mu\text{mol g}^{-1}\text{b}$)	Klorofil ($\text{mg.g}^{-1}\text{b}$)	Ukuran Stomata (mm^2b)	Kerapatan Stomata ($\text{stomata mm}^{-1}\text{-}^2\text{b}$)	Gulung Daun ($\%\text{b}$)	Visualisasi Gulung Daun
K1	4.62 c	0.61 b	0.000297 a	438.78 a	23.95 c	
K2	1.57 a	1.83 a	0.000295 a	439.63 a	57.10 b	
K3	13.27 b	0.58 b	0.000264 a	187.07 b	76.98 a	

Keterangan : ^{a)}Data diambil pada hari ke-72 irigasi rutin untuk K1, hari ke-72 tanpa irigasi untuk K2 dan hari ke-141 tanpa irigasi untuk K3; ^{b)}Angka-angka pada kolom yang sama dan diikuti oleh huruf yang sama tidak berbeda nyata sedangkan yang diikuti oleh huruf tidak sama berbeda nyata pada taraf uji 5% (uji Beda Nyata Terkecil).

Ukuran dan Kerapatan Stomata

Ukuran stomata pada penelitian ini menunjukkan hasil yang tidak berbeda nyata antara K1, K2, dan K3. Kerapatan stomata menunjukkan hasil yang tidak berbeda nyata antara tanaman K1 dan K2, namun berbeda nyata dengan K3. Tanaman K3 memiliki kerapatan stomata yang lebih rendah dibandingkan K2 (Tabel 3). Penelitian sebelumnya menyebutkan bahwa kerapatan stomata berkorelasi negatif dengan ukuran stomata, semakin kecil nilai kerapatan stomata maka ukuran stomata semakin besar dan sebaliknya (Zhao *et al.*, 2015). Hasil penelitian ini tidak menunjukkan korelasi antara ukuran stoma dan kerapatan stomata.

Stomata merupakan pori-pori yang ditemukan pada bagian epidermis daun dan batang dan berperan dalam pertukaran gas dan air tanaman (Pirasteh-Anosheh *et al.*, 2016) yang selanjutnya mempengaruhi fotosintesis, transpirasi dan pengambilan nutrisi (Arve *et al.*, 2011). Ukuran dan kerapatan stomata merupakan dua dari beberapa ciri morfologi stomata yang mempengaruhi hubungan antara tanaman dengan kondisi lingkungan seperti status air (Pirasteh - Anosheh *et al.*, 2016). Penurunan tingkat kerapatan stomata dapat meningkatkan toleransi terhadap cekaman kekeringan pada tanaman barley (Hughes *et*

al., 2017). Kerapatan stomata yang rendah akan mengurangi transpirasi tanaman sebagai upaya mencegah kehilangan air dari tanaman dan menghemat pengambilan air dari tanah sehingga kelembapan tanah masih terjaga tanpa merusak pengaruh pengambilan nutrisi dari tanah serta menjaga ketersediaan air tanah (Caine *et al.*, 2018). Hasil-hasil penelitian tersebut beserta hasil pada penelitian ini menunjukkan bahwa kerapatan stomata merupakan salah satu parameter respon terhadap cekaman kekeringan, dimana semakin tercekam tanaman maka kerapatan stomata akan semakin rendah.

KESIMPULAN

Kadar air 50% dan 40% kapasitas lapang tidak menginduksi bunga jeruk keprok Madura umur 1 tahun setelah okulasi yang dibuktikan dengan kadar giberelin yang sangat tinggi. Kadar air 50% dan 40% dari kapasitas lapang terlalu rendah sehingga tanaman mengalami cekaman kekeringan berat dan mengganggu proses induksi bunga. Cekaman kekeringan berat tersebut ditandai dengan potensial air daun dan tanah yang tinggi, kadar prolin daun tinggi, kerapatan stomata menurun, dan daun menggulung.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih penulis ucapkan kepada Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi yang telah membiayai penelitian ini melalui program Pendidikan Magister Menuju Doktor untuk sarjana Unggul (PMDSU) *Batch* 2 dan Pusat Penelitian Biologi-LIPI khususnya Laboratorium Biak Sel dan Jaringan Tumbuhan yang telah memberikan ijin dan memfasilitasi penulis untuk melaksanakan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Albrigo, L.G., J.I. Valiente, H.W. Beck. 2002. Flowering expert system development for a phenology based citrus decision support system. Proc. 6th IS on Modelling in Fruit Ed. T.M. DeJong Acta Hort. 584. ISHS.
- Arve, L.E., S. Torres, J.E. Olsen, K.K. Tanino. 2011. Stomatal responses to drought stress and air humidity. Abiotic stress in plants: Mechanism and adaptations. 267-280.
- [Balitjestro] Balai Penelitian Tanaman Jeruk dan Buah Subtropika. 2016 Tips membedakan jenis jeruk. <http://balitjestro.litbang.pertanian.go.id/tips-membedakan-jenis-jeruk/>. [13 Desember 2018]
- Barendse, G.W.M., P.H.V.D. Werken. 1980. High-performance liquid chromatography of gibberellins. Journal of Chromatography. 198: 449-455.
- Bates, L.S. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. Plant and Soil. 39: 205-207.
- Bernier, G., J.M. Kinet, R.M. Sachs. 1981. The Physiology of Flowering, Vol. I. Boca Raton (FL): CRC Press.
- Caine, R.S., X. Yin, J. Sloan, E.L. Harrison, U. Mohammed, T. Fulton, A.K. Biswal, J. Dionora, C.C. Chater, R.A. Coe. 2018. Rice with reduced stomatal density conserves water and has improved drought tolerance under future climate conditions. New Phytologist. 221: 371-384. doi: 10.1111/nph.15344.
- Campos-Rivero, G., P. Osorio-Montalvo, R. S´anchez-Borges, F. Duarte-Ak´e , R. Us-Camas, C. De-la-Peña. 2017. Plant hormone signaling in flowering: an epigenetic point of view. Plant Physiology 214:16-27.
- Davenport, T.L. 1990. Citrus flowering. Hortic. Rev. 12: 349-408.
- Davenport, T.L. 2000. Processes influencing floral initiation and bloom: the role of phytohormones in a conceptual flowering model. HortTechnology. 10(4):733-739.
- Dickson, R.E. 1989. Carbon and nitrogen allocation in trees. Ann. Sci. For. (46): 631-647.
- Dovis, V.L., E.C. Machado, R.V. Ribeiro, J.R.M. Filho, P.E.R. Marchiori, C.R.G. Sales. 2014. Roots are important sources of carbohydrates during flowering and fruiting in ‘Valencia’ sweet orange trees with varying fruit load. Scientia Horticulturae. 174: 87-95.
- Eviati, Sulaeman. 2009. Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air dan Pupuk. Bogor: Balai Penelitian Tanah.
- Farooq, M., A. Wahid, N. Kobayashi, D. Fujita, S.M.A. Basra. 2009. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. Agronomy for Sustainable Development. 29(1): 185-212. doi: 10.1051/agro:2008021.
- Goldschmidt, E.E., N. Aschkenazi, Herzano, A.A. Schaffer, S.P. Monselise. 1985. A role for carbohydrate levels in the control of flowering in citrus. Scientia Horticulturae. 26: 159-166.
- Gracia-Luis. A., F. Fornes, J.L. Guardiola. 1995. Leaf carbohydrates and flower formation in citrus. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 120(2): 222-227. doi: <https://doi.org/10.21273/JASHS.120.2.222>.

- Hughes, J., C. Hepworth, C. Dutton, J.A. Dunn, L. Hunt, J. Stephens, R. Waugh, D.D. Cameron, J.E. Gray. 2017. Reducing stomatal density in barley improves drought tolerance without impacting on yield. *Plant Physiology*. (174): 776-787. doi: www.plantphysiol.org/cgi/doi/10.1104/pp.16.01844.
- Jarvis, P.G. 1976. The interpretation of the variations in leaf water potential and stomatal conductance found in canopies in the field. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B*. (273): 593-610. doi: <https://doi.org/10.1098/rstb.1976.0035>.
- Kaiser, W.M., G. Kaiser, S. Schöner, S. Neimanis. 1981. Photosynthesis under osmotic stress. *Planta*. 153: 430-435.
- Keyvan, S. 2010. The effects of drought stress on yield, relative water content, proline, soluble carbohydrates and chlorophyll of bread wheat cultivars. *Journal of Animal & Plant Sciences* 8(3): 1051-1060.
- Koshita, Y., T. Takahara. 2004. Effect of water stress on flower-bud formation and plant hormone content of satsuma mandarin (*Citrus unshiu* Marc.). *Scientia Horticulturae*. (99): 301-307.
- Lichtenthaler, H.K. 1987. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods Enzymol*. 148: 350-382.
- Mackinney, G. 1941. Absorption of light by chlorophyll solutions. *J. Biol. Chem*. 140: 315-322.
- Mattjik, A.A., I.M. Sumertajaya. 2013. Perancangan Percobaan dengan Aplikasi SAS dan Minitab Jilid 1. IPB Press.
- Medeiros, D.B., E.C. Silva, H.R.B. Santos, C.M. Pacheco, R.D.S. Musser, R.J.M.C. Nogueira. 2012. Physiological and biochemical responses to drought stress in Barbados cherry. *Braz. J. Plant Physiol*. 24(3): 181-192. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S1677-04202012000300005>.
- Monerri C., A. Fortunato-Almeida, R.V. Molina, S.G. Nebauer, A. García-Luis, J.L. Guardiola. 2011. Relation of carbohydrate reserves with the forthcoming crop, flower formation and photosynthetic rate, in the alternate bearing 'Salustiana' sweet orange (*Citrus sinensis* L.). *Scientia Horticulturae*. (129): 71-78. doi: [10.1016/j.scienta.2011.03.009](https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.03.009).
- Moore, G.W., J.R. Cleverly, M.K. Owens. 2008. Nocturnal transpiration in riparian Tamarix thickets authenticated by sap flux, eddy covariance and leaf gas exchange measurements. *Tree Physiology*. 28:521-528.
- Moss, G.I. 1969. Influence of temperature and photoperiod on flower induction and inflorescence development in sweet orange (*Citrus sinensis* L. Osbeck). *Journal of Horticultural Science*. 44(4):311-320.
- Nolte, K.D., A.D. Hanson. 1997. Proline accumulation and methylation to proline betain in citrus: implication for genetics engineering of stress resistance. *J. Amer. Soc. Hort. Sci*. 122(1): 8-13.
- Peiguo, G., L. Mingqi. 1996. Studies on photosynthetic characteristics in rice hybrid progenies and their parents. I. chlorophyll content, chlorophyll-protein complex and chlorophyll fluorescence kinetics. *Journal of Tropical and Subtropical Botany* 4(4): 60-65. <https://europepmc.org/abstract/cba/296564/feedback>. [13 Agustus 2019].
- Phadung, T., K. Krisanapook, L. Havaphutanon. 2011. Paclobutrazol, water stress and nitrogen induced flowering in 'Khao Nam Phueng' pummelo. *Kasetsart J. (Nat. Sci.)* 45: 189-200.
- Pirasteh-Anosheh, H.H., A. Saed-Moucheshi, H. Pakniyat, M. Pesarakli. 2016. Stomatal responses to drought stress. *Water Stress and Crop Plants: A Sustainable Approach* (1) First Edition. Edited by Parvaiz Ahmad. 24-40.

- Takeo, K. 2016. Stress-induced flowering: the third category of flowering response. *Journal of Experimental Botany*. 67(17): 4925-4934.
- Valiente, J.I., L.G. Albrigo. 2004. Flower bud induction of Sweet Orange trees (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck): effect of low temperature, crop load, and bud age. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 129(2):158-164. doi: 10.21273/JASHS.129.2.0158.
- Xie, S., X. Zhao, X. Lu, C. Huang, Y. Xiao, J. Li. 2016. Effect of water stress on citrus physiological characteristics, jasmine acid biosynthesis and correlative gene expression. *Acta Hort.* 1112. doi: 10.17660/ActaHortic.2016.1112.34.
- Zhao, W., Y. Sun, R. Kjelgren, X. Liu. 2015. Response of Stomatal Density and Bound Gas Exchange in Leaves of Maize to Soil Water Deficit. *Acta Physiologiae Plantarum* 37(1). <https://digitalcommons.usu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1731&context=pscfacpub>.