

**Pengaruh Konsentrasi Selenium pada berbagai Fase Pertumbuhan Tomat  
(*Lycopersicon esculentum* Mill.) Sistem Hidroponik terhadap  
Kandungan Likopen Buah**

***Effect Selenium Concentration in Different Phase of Growth Tomato  
(Lycopersicon esculentum Mill.) in Hydroponic System on Lycopene Fruit  
Content***

Sarlin Kusumaningrum<sup>1)</sup>, Eka Tarwaca Susila Putra<sup>2\*)</sup>, Sriyanto Waluyo<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Program Studi Agronomi, Fakultas Pertanian, Universitas Gadjah Mada

<sup>2)</sup> Departemen Budidaya Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Gadjah Mada

<sup>\*)</sup> Penulis untuk korespondensi E-mail: ekatarwaca79@gmail.com

**ABSTRACT**

*The needs of functional food have predicted to rise in the next few years, so it is necessary to produce that types of foods to meet these needs. One of the technologies that can be developed is the production of high antioxidant levels of tomatoes using hydroponics with selenium (Se) enrichment in the nutrient solution. The objectives of research were to determine the optimal concentration and time application of Se for the tomato to obtain fruits with high lycopene content. The field research was conducted at the Experimental Farm, Faculty of Agriculture, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, in December 2015-April 2016. The field experiment was arranged in Randomized Complete Block Design (RCBD) factorial, with three blocks as replication. The first factor was concentrations of Se, consisting of three levels, namely 0.5, 1.0, and 1.5 mg L<sup>-1</sup>. The second factor was time applications of Se, consisting of 3 times, namely phases of vegetative, generative, and throughout the life cycle of crops. In this study also used tomato crops that were not given Se, as a control. The observations were done on several characters of micro climates, nutrient solutions, physiological activities, growths, yields, and lycopene concentrations. Data were analysed with Analysis of Variance (ANOVA) at 5% levels, and continued with the orthogonal polynomials and Least Significant Difference (LSD) test if there were significant differences among treatments. The results showed that enrichment of Se within generative stage of tomato significantly enhances the concentrations of Se in the leaf up to 1.16 mg L<sup>-1</sup>. The increases of leaf Se concentrations were able to increase the relative water contents, wide of stomata openings, number of stomata, decrease the leaf internal CO<sub>2</sub> concentration, and the increase of total dry weight. The enrichment of Se in the levels of 0.50 - 1.16 mg L<sup>-1</sup>, within generative stage, were able to increase the accumulation of Se in the fruit, lycopene synthesis, content of vitamin C, and fruits firmness, so that will be possible to use as a source of functional food without reducing the yields of fresh fruit per crop.*

*Keywords: hydroponics, lycopene, selenium, tomato*

### INTISARI

Kebutuhan pangan fungsional diprediksikan meningkat beberapa tahun kedepan, sehingga perlu dilakukan upaya produksi untuk mencukupi kebutuhan tersebut. Salah satu teknologi budidaya pangan fungsional yang dapat dikembangkan adalah produksi tomat berkadar antioksidan tinggi secara hidroponik melalui pengayaan selenium (Se) pada larutan nutrisi. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan konsentrasi dan waktu aplikasi pemberian Se yang optimal bagi tanaman tomat sehingga didapatkan buah dengan kandungan likopen tinggi. Penelitian dilakukan di Kebun Percobaan, Fakultas Pertanian, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta pada bulan Desember 2015-April 2016. Penelitian lapangandisusun dalam rancangan acak kelompok lengkap faktorial ( $3 \times 3 + 1$ ) dengan faktor pertama berupa konsentrasi pengayaan Se yang terdiri dari 3 aras yaitu  $0,5 \text{ mg L}^{-1}$ ,  $1,0 \text{ mg L}^{-1}$ , dan  $1,5 \text{ mg L}^{-1}$ , dan faktor kedua berupa waktu pemberian Se yang terdiri dari 3 waktu yaitu fase vegetatif, generatif, serta sepanjang siklus hidup tanaman. Sebagai kontrol digunakan tanaman tomat yang tidak diberi Se. Variabel yang diamati meliputi kondisi iklim mikro, karakter larutan nutrisi, aktivitas fisiologis, karakter pertumbuhan, hasil, dan kandungan likopen buah tomat. Data yang diperoleh dianalisis varian (ANOVA) pada level 5%. Jika terdapat interaksi antar faktor, maka dilakukan uji lanjut pengaruh sederhana. Apabila tidak ada interaksi antar faktor, maka faktor pertama di uji polinomial ortogonal, sedangkan faktor kedua dilakukan uji beda nyata terkecil fisher. Hasil penelitian memberikan informasi bahwa pengayaan Se secara nyata meningkatkan konsentrasi Se dalam jaringan daun hingga  $1,16 \text{ mg L}^{-1}$ , ketika diberikan pada fase generatif. Konsentrasi Se daun yang meningkat mampu berkontribusi terhadap kenaikan kandungan air nisbi, memperlebar bukaan stomata, kenaikan jumlah stomata, penurunan kandungan  $\text{CO}_2$  internal daun, dan kenaikan bobot kering total. Pengayaan Se saat fase generatif dengan konsentrasi  $0,50-1,16 \text{ mg L}^{-1}$  mampu meningkatkan akumulasi Se pada buah, meningkatkan sintesis likopen, peningkatan kandungan vitamin C, serta adanya peningkatan kekerasan buah sehingga layak digunakan sebagai sumber pangan fungsional tanpa mengurangi hasil buah segar per tanaman.

Kata kunci : hidroponik, likopen, selenium, tomat

### PENDAHULUAN

Tomat merupakan salah satu komoditas hortikultura yang mengandung nilai gizi tinggi sehingga disukai oleh berbagai kalangan masyarakat. Buah tomat mengandung antioksidan likopen (60-64%), phytoene (10-11%),  $\gamma$ -carotene (10-11%), neurosporine (7-9%), phytofluene (4-5%), dan  $\beta$ -carotene (1-2%) (Dillinghame and Vanket, 2005). Kandungan antioksidan likopen dapat ditingkatkan dengan memperkaya unsur selenium dalam produk pertanian karena selenium diduga terkait dengan metabolisme antioksidan (Lin *et al.*, 2012 *cit.* Feng *et al.*, 2013) melalui perannya sebagai kofaktor dari selenoenzymes yang mampu menstimulasi enzim superoksida dismutase (SOD), katalase (CAT) dan glutathione peroksidase (GSH-Px) yang bermanfaat untuk meminimalkan radikal bebas penyebab kerusakan oksidatif.

Selenium merupakan unsur mineral yang terdapat di dalam tanah sebesar 0,01-2 mg/kg, yang ketersediaannya pada tanaman dipengaruhi oleh pH tanah, potensial redoks tanah, volatilisasi unsur, serta total selenium di dalam tanah (Temmerman *et al.*, 2014). Terbatasnya konsentrasi selenium di tanah menyebabkan timbulnya penyakit endemik di China seperti keshan (penyakit otot jantung yang menimpa anak dan wanita melahirkan), kaschin beak, serta penyakit lainnya seperti penyakit kardiovaskuler, kanker prostat karena selenium mempengaruhi biosintesis testosteron dan perkembangan spermatozoa, diabetes, gangguan pada otak, limpa, kelenjar getah bening, serta adanya epilepsi pada anak. Diketahui menurut Caballero (2002) *cit.* Yang (2007) World Health Organization memperkirakan 260 juta dari semua anak-anak di dunia yang berusia 0-5 tahun menderita kekurangan selenium (Se). Sementara itu, kebutuhan selenium harian manusia menurut Food Agriculture Organization (FAO) *cit.* Bitterli (2010) antara 6-42 µg/hari dan maksimal >400 µg/hari (World Health Organization, 1996). Konsumsi Se sebesar 632 µg/hari untuk pria dan 475 µg/hari untuk wanita menimbulkan efek toksisitas yang dapat terlihat dari adanya kerontokan rambut, rakitis, serta penyakit keratosis (Tait *et al.*, 2011).

Selenium diketahui mampu menstimulasi pertumbuhan beberapa tanaman seperti ryegrass (Hartikainen *et al.*, 2000 *cit.* Hajiboland and Keivanfar, 2012), selada (Xue *et al.*, 2001 *cit.* Hajiboland and Keivanfar, 2012), kentang (Seppänen *et al.*, 2003 *cit.* Hajiboland and Keivanfar, 2012) dan *Brassica oleracea* (Hajiboland and Amjad, 2007 *cit.* Hajiboland and Keivanfar 2012). Pada kentang Se mampu meningkatkan putrescine (Turakainen *et al.*, 2004). Aplikasi Se pada fase vegetatif kedelai diketahui mempengaruhi klorofil b dan karotenoid, adanya peningkatan laju asimilasi bersih 16% serta berpengaruh pada transpirasi dan konduktivitas stomata (Demmig-Adams and Adams, 1992). Namun, pengaruh pada fase reproduktif tanaman belum diteliti sejauh ini (Hajiboland and Keivanfar, 2012).

Malnutrisi selenium pada manusia, tingkat konsentrasi selenium yang rendah pada tanah, serta upaya pengkayaan antioksidan dalam produk pertanian dapat diatasi dengan memperkaya konsentrasi selenium pada tanaman (biofortifikasi) dengan menggunakan hidroponik (bertanam tanpa tanah) (White and Broadley, 2007). Biofortifikasi Se yang menggunakan pupuk selenium perlu dilakukan dibawah kondisi yang ketat karena akumulasi yang berlebih menyebabkan gejala phytotoxic serta dapat mengurangi hasil panen. Menurut Jones Jr. (2005) konsentrasi Se yang dibutuhkan tanaman berada pada kisaran 0,001 - 2 ppm, mulai meracun pada konsentrasi 5 - 30 ppm.

Secara umum, hidroponik merupakan penanaman tanaman tanpa menggunakan tanah. Hidroponik media padat dengan menggunakan arang sekam lebih efektif dikarenakan arang sekam bersifat ringan (berat jenis 0,2 kg/l), sirkulasi udara tinggi, kapasitas menahan air tinggi, berwarna kehitaman, sehingga dapat mengabsorpsi sinar matahari dengan efektif (Wuryaningsih, 1996), harganya relatif murah, bahannya mudah didapat, steril dan mempunyai porositas yang baik (Prihmantoro dan Indriani, 2003).

Mengingat beberapa tahun ke depan tingkat kebutuhan terhadap pangan fungsional diprediksikan meningkat, perlu dilakukan upaya produksi untuk mencukupi kebutuhan tersebut. Namun demikian, pada saat ini belum terdapat teknologi budidaya yang relatif mapan untuk memproduksi pangan fungsional tersebut. Oleh karena itu, kajian terkait upaya pengembangan teknologi budidaya pangan fungsional cukup penting untuk dilaksanakan. Salah satu teknologi budidaya pangan fungsional yang akan dikembangkan adalah produksi buah tomat berkadar antioksidan tinggi menggunakan teknik hidroponik melalui pemberian selenium. Fokus kajian adalah penentuan konsentrasi dan waktu pemberian selenium yang optimal untuk menstimulasi peningkatan pertumbuhan, kuantitas hasil, dan kualitas hasil (yang diindikasikan oleh konsentrasi antioksidan) tanaman tomat.

## **BAHAN DAN METODE**

Penelitian dilaksanakan di rumah kaca Fakultas Pertanian, Universitas Gadjah Mada, dan Kebun Banguntapan, Bantul, Yogyakarta. Penelitian berlangsung pada Desember 2015-April 2016. Alat yang digunakan dalam penelitian meliputi 300 polibag dengan ukuran 30 cm x 30 cm x 30 cm, 300 plastik hitam yang berukuran 50 cm x 50 cm x 50 cm, plastik ½ ons dengan ketebalan 0,5 mm sebanyak 900 buah, 9 bak ukuran 35 cm x 30 cm x 15 cm, jerigen dengan kapasitas 2 L dan 5 L, penggaris, alat tulis, gelas ukur, erlenmeyer, tabung reaksi, pipet ukur, timbangan analitik dengan kapasitas maksimal 450 gram dan tingkat ketelitian 0,05 g, meteran, jangka sorong, kamera digital, lux meter, pH meter portable (HI 9182, Hanna Instruments, Ltd.), EC meter portable (HI 98312, Hanna Instruments, Ltd.), *Leaf area meter* (Delta-T Devices Ltd. Serial No. CB380495, 220 V, 50 Hz), thermohigrometer, hand penetrometer (bareiss HPE II, Germany), refraktometer, mikroskop binokuler digital olympus (Germany), Optilab mikroskop digital tipe advanced, Hotplate stirer, Spetrofotometer UV-Vis (UV-1800, 230VCE) tahun pembuatan 2006, serta Plasma Atomic Emission Spectrometer (ICPE-9820). Bahan yang akan digunakan adalah benih tomat dengan

varietas tymoti, kertas saring Whatman, hexane, ethanol, acetone, selenium standard for ICP, asam perclorat 70-72%, asam nitrat, asam klorida 37%, Natrium hidroksida (NaOH), sodium borohidrida, selenium dioxide ( $\text{SeO}_2$ ) dengan konsentrasi  $0 \text{ mg L}^{-1}$ ,  $0,5 \text{ mg L}^{-1}$ ,  $1 \text{ mg L}^{-1}$ ,  $1,5 \text{ mg L}^{-1}$ , nutrisi hidroponik tomat dengan komposisi konsentrasi hara:  $276 \text{ mg L}^{-1} \text{ N}$ ,  $60 \text{ mg L}^{-1} \text{ P}$ ,  $300 \text{ mg L}^{-1} \text{ K}$ ,  $170 \text{ mg L}^{-1} \text{ Ca}$ ,  $50 \text{ mg L}^{-1} \text{ Mg}$ ,  $65 \text{ mg L}^{-1} \text{ S}$ ,  $12 \text{ mg L}^{-1} \text{ Fe}$ ,  $0,3 \text{ mg L}^{-1} \text{ B}$ ,  $2 \text{ mg L}^{-1} \text{ Mn}$ ,  $0,1 \text{ mg L}^{-1} \text{ Zn}$ ,  $0,1 \text{ mg L}^{-1} \text{ Cu}$ ,  $0,2 \text{ mg L}^{-1} \text{ Mo}$ , benang kasur, arang sekam, aquadest, dan bidest.

Perlakuan disusun dalam rancangan faktorial dua faktor dengan tiga blok sebagai ulangan. Faktor pertama konsentrasi selenium dalam larutan nutrisi yang terdiri dari 3 aras yaitu:  $0,5 \text{ mg L}^{-1}$ ,  $1 \text{ mg L}^{-1}$ , dan  $1,5 \text{ mg L}^{-1}$ . Faktor kedua fase pertumbuhan tanaman tomat yang terdiri dari 3 aras yaitu: fase vegetatif, fase generatif, fase vegetatif generatif. Sebagai kontrol digunakan pertanaman tomat yang tidak diberi selenium. Setiap 30 hspt dan 80 hspt, dua tanaman diambil untuk diamati. Tahapan pelaksanaan terdiri atas tujuh langkah yaitu sebagai berikut:

- 1) Persemaian tomat menggunakan media arang sekam yang dimasukkan ke dalam plastik  $\frac{1}{2}$  ons dengan ketebalan 0,5 mm. Kemudian diisikan 1 benih tymoti serta ditaruh di bak ukuran  $30 \text{ cm} \times 30 \text{ cm} \times 15 \text{ cm}$ .
- 2) Rumah kaca yang digunakan berukuran  $14,2 \text{ m} \times 10 \text{ m} \times 2,5 \text{ m}$ , pada bagian samping diberikan kasa untuk menghindari adanya hama serta angin kencang, bagian bawah dilengkapi dengan terpal.
- 3) Pembuatan larutan nutrisi terdiri atas  $575,59 \text{ g kno}_3$ ,  $75 \text{ g fe-edta}$ ,  $918,92 \text{ g } 5\text{ca}(\text{no}_3)_2 \cdot \text{nh}_4 \cdot \text{no}_3 \cdot 10\text{h}_2\text{o}$  (stok a) dan  $505,05 \text{ g mgso}_4 \cdot 7\text{h}_2\text{o}$ ;  $222,22 \text{ g nh}_4\text{h}_2\text{po}_4$ ;  $0,31 \text{ g mns}_4 \cdot 4\text{h}_2\text{o}$ ;  $0,39 \text{ g cuso}_4 \cdot 5\text{h}_2\text{o}$ ;  $1,71 \text{ g h}_3\text{bo}_3$ ;  $0,44 \text{ g zncl}_2$ ; dan  $0,3 \text{ g moo}_3$  (stok b). Senyawa  $\text{seo}_2$  sebagai sumber unsur se yang ditambahkan ke larutan nutrisi dicampurkan ke stok larutan b, masing-masing sebanyak 0 g untuk perlakuan tanpa pengayaan se;  $0,702 \text{ g}$  untuk perlakuan  $0,5 \text{ mg se l}^{-1}$ ;  $1,405 \text{ g}$  untuk perlakuan  $1,0 \text{ mg se l}^{-1}$ ; dan  $2,108 \text{ g}$  untuk perlakuan  $1,5 \text{ mg se l}^{-1}$ ;
- 4) Persiapan media tanam dilakukan dengan cara memasukkan 700 gram arang sekam ke dalam polibag yang berukuran  $30 \text{ cm} \times 30 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}$  sebanyak 300 polibag. Polibag yang sudah berisi sekam dimasukkan ke dalam polibag yang tidak berlubang dengan ukuran  $50 \text{ cm} \times 50 \text{ cm} \times 50 \text{ cm}$
- 5) Pindah tanam menggunakan bibit dengan ciri-ciri memiliki 2 daun sejati yang dipindahkan ke dalam polibag yang berukuran  $30 \text{ cm} \times 30 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}$ .
- 6) Pemeliharaan meliputi pengajiran yang dilakukan saat berumur 2 mspt, pewartan tunas ketiak, serta pengendalian hama; dan

- 7) Panen dilakukan pada 70 hspt saat buah menunjukkan semburat merah, kurang lebih sebanyak 10% dari permukaan kulit buah.

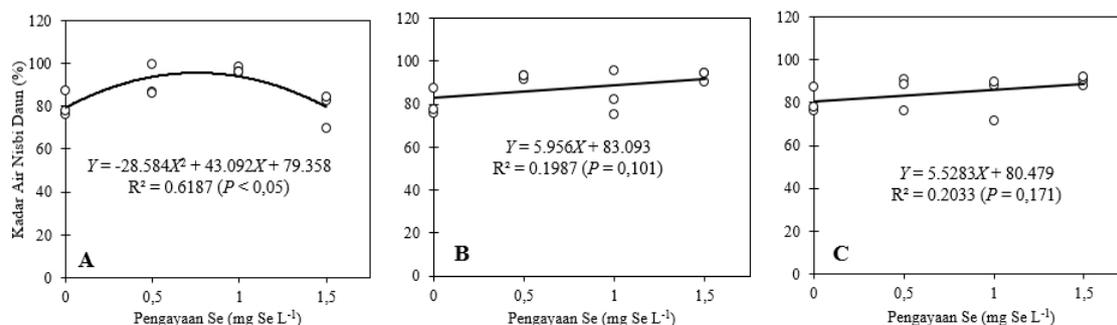
Variabel pengamatan yang diamati terdiri atas: (1) variabel pengamatan lingkungan, meliputi tingkat pH, daya hantar, dan suhu larutan nutrisi serta suhu udara, kelembaban relatif, dan intensitas cahaya; (2) variabel pengamatan periodik setiap tujuh hari sekali, meliputi tinggi tanaman, jumlah daun majemuk, jumlah daun tunggal dan diameter batang; (3) variabel pengamatan destruktif meliputi luas daun, kadar bobot segar dan kering akar dan tajuk; (4) variabel fisiologis meliputi laju fotosintesis, laju transpirasi, kandungan CO<sub>2</sub> daun, klorofil total, aktivitas nitrat reduktase, densitas stomata, panjang dan lebar stomata, kadungan air nisbi; dan (5) variabel kualitas buah meliputi kadar asam askorbat, kandungan likopen buah, kekerasan buah, serapan selenium, bobot buah segar per tanaman. Data yang terkumpul dianalisis menggunakan analisis varians. Jika berinteraksi dilakukan analisis pengaruh sederhana, bila tidak berinteraksi digunakan uji Beda Nyata Terkecil (BNT) Fisher dan polinomial ortogonal dengan taraf signifikansi 5%.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Salah satu faktor yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman adalah lingkungan meliputi cahaya matahari, suhu udara, dan kelembaban udara relatif. Intensitas cahaya matahari, suhu udara, dan kelembaban udara berfluktuasi di setiap hari selama penelitian berlangsung, baik di pagi, siang, maupun sore hari. Pada umumnya, intensitas cahaya matahari di siang hari lebih kuat daripada intensitas cahaya matahari di pagi dan sore hari, bahkan hampir menyentuh level 52.050 lux. Demikian juga dengan rerata suhu udara di siang hari umumnya lebih tinggi daripada suhu udara di pagi dan sore hari, berkisar antara 29-43°C. Akan tetapi, kelembaban udara relatif di siang hari justru lebih rendah daripada kelembaban udara relatif di pagi dan sore hari, secara umum berkisar antara 45-100%. Kombinasi faktor lingkungan yang terjadi selama penelitian dapat menjadi penyebab kuantitas tanaman kurang optimal.

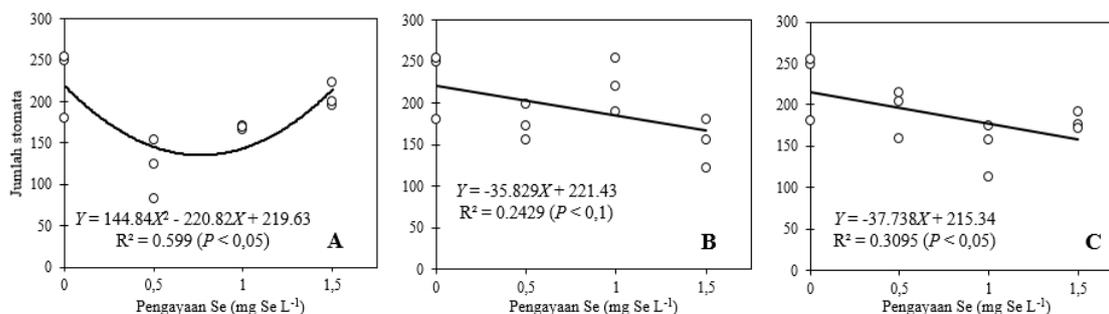
Selama penelitian berlangsung, karakter media tumbuh juga diukur setiap hari pada pagi, siang, dan sore hari. Kisaran suhu media tanam yaitu 25-33°C, sedangkan kisaran daya hantar listrik sebesar 1,4-6,1 dS/m, serta pH media berada pada kisaran 5,1-7,5 dan tergolong aman menurut Jones Jr. (2005). Kondisi lingkungan tumbuh media tanaman tersebut mampu mendukung pertumbuhan tanaman.

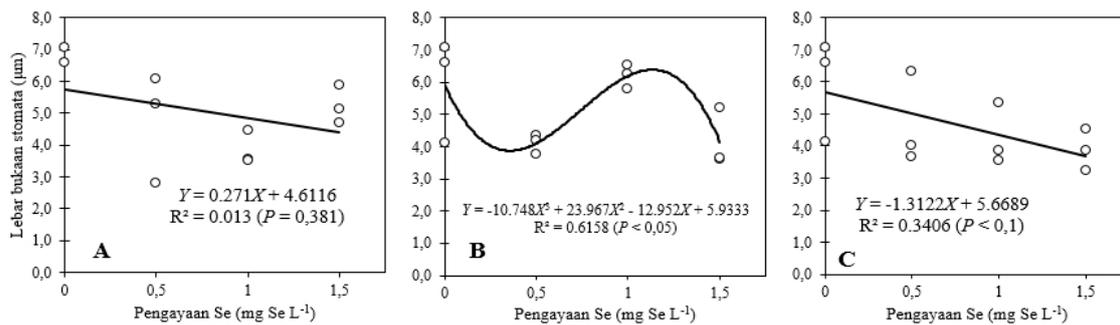
Kombinasi perlakuan pengayaan Se pada larutan nutrisi yang diberikan pada fase pertumbuhan tanaman yang berbeda mampu mempengaruhi kadar air nisbi daun, densitas stomata, lebar bukaan stomata, bobot kering total, kandungan CO<sub>2</sub> daun, serapan selenium dalam daun serta buah, kandungan vitamin C, kandungan likopen, kekerasan buah, serta bobot segar buah per tanaman.



Gambar 1. Hubungan antara kadar air nisbi saat 30 hspt dan pengayaan selenium pada fase vegetatif (A), pada fase generatif (B), dan selama fase vegetatif hingga fase generatif (C) ( $n=9$ )

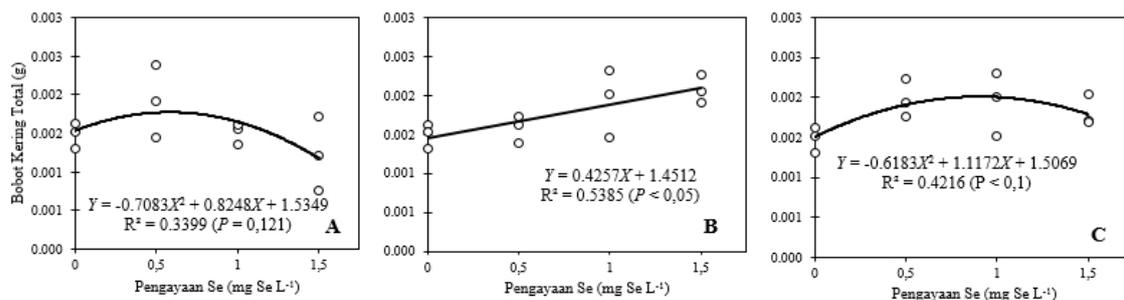
Pola kecenderungan kadar air nisbi saat 30 hspt pada interaksi pengayaan selenium di berbagai fase pertumbuhan hanya menunjukkan hasil yang signifikan pada pemberian Se di fase vegetatif (Gambar 1). Pada fase vegetatif, hubungan antara pengayaan selenium dengan kadar air nisbi memiliki kecenderungan kuadratik yang mencapai maksimal pada dosis Se sebesar 0,75 mg Se L<sup>-1</sup>.





Gambar 2. Hubungan antara lebar bukaan stomata; jumlah stomata saat 30 hspt dan pengayaan selenium pada fase vegetatif (A), pada fase generatif (B), dan selama fase vegetatif hingga fase generatif (C) ( $n=9$ ). Data lebar bukaan stomata ditransformasi menggunakan  $f(x) = \sqrt{x + 2,5}$

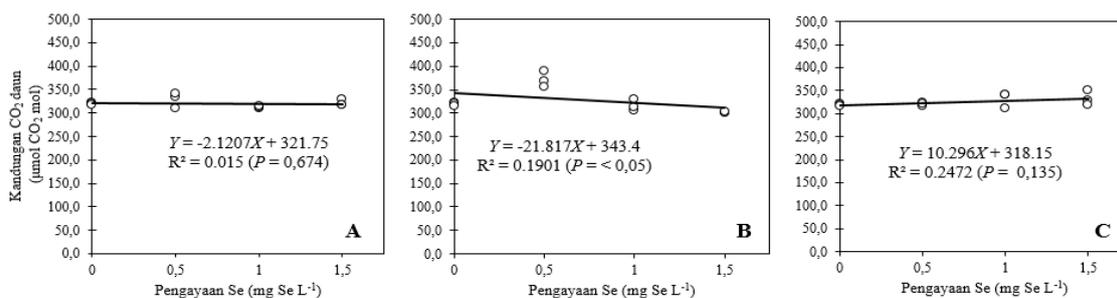
Selain kadar air nisbi, densitas dan lebar bukaan stomata juga menunjukkan adanya pola interaksi. Konsentrasi yang meningkat pada fase vegetatif saat 30 hspt menunjukkan pola kuadrat terbalik pada densitas stomata. Saat Se diberikan hingga konsentrasi  $0,76 \text{ mg Se L}^{-1}$  maka densitas menunjukkan penurunan hasil. Bila pengayaan Se dilakukan pada fase generatif maka lebar bukaan stomata akan maksimal hingga konsentrasi  $0,76 \text{ mg Se L}^{-1}$ . Namun demikian, jika kenaikan konsentrasi Se terjadi hingga melampaui  $0,76 \text{ mg Se L}^{-1}$  justru menyebabkan lebar bukaannya menjadi lebih sempit. Akan tetapi, densitas stomata juga merespon bila pengayaan Se dilakukan saat fase vegetatif-generatif yang menunjukkan pola regresi linear negatif, sehingga pemberian Se yang meningkat akan diikuti oleh penurunan jumlah stomata pada tanaman tomat.



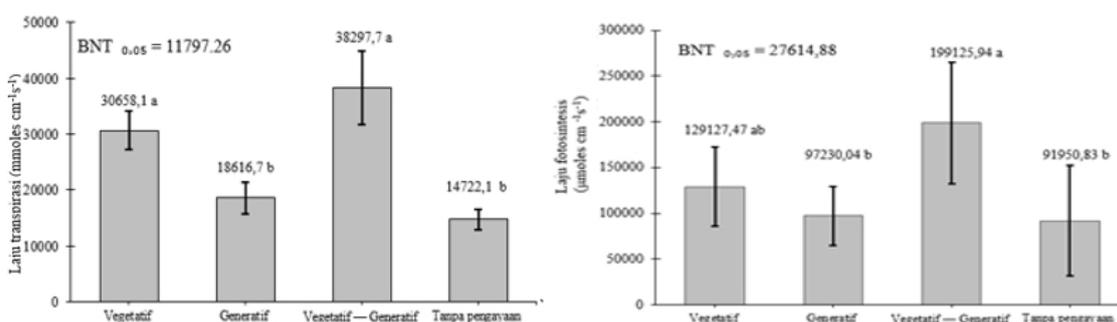
Gambar 3. Hubungan antara bobot kering total saat 30 hspt dan pengayaan selenium pada fase vegetatif (A), pada fase generatif (B), dan selama fase vegetatif hingga fase generatif (C) ( $n=9$ )

Terdapat hubungan regresi antara pengkayaan Se dengan bobot kering total tanaman tomat khususnya pada aplikasi Se yang dilakukan saat fase generatif. Pemberian Se pada fase generatif mengindikasikan bahwa kenaikan konsentrasi Se sampai dengan  $1,5 \text{ mg Se L}^{-1}$  selalu diikuti oleh kenaikan bobot kering total

tanamantomat. selain itu Karakter fisiologis tanaman tomat yang dipengaruhi oleh interaksi antara pengayaan Se dengan waktu pemberian Se adalah kandungan CO<sub>2</sub> pada daun 80 hspt. Secara statistik, kenaikan konsentrasi Se sampai dengan 1,5 mg Se L<sup>-1</sup> menyebabkan penurunan kandungan CO<sub>2</sub> internal daun, ketika Se diberikan saat fase generatif tanaman tomat. Hal yang berbeda dijumpai jika pengayaan Se dilakukan pada fase vegetatif ( $P = 0,6737$ ) dan seluruh fase hidup ( $P = 0,135$ ).

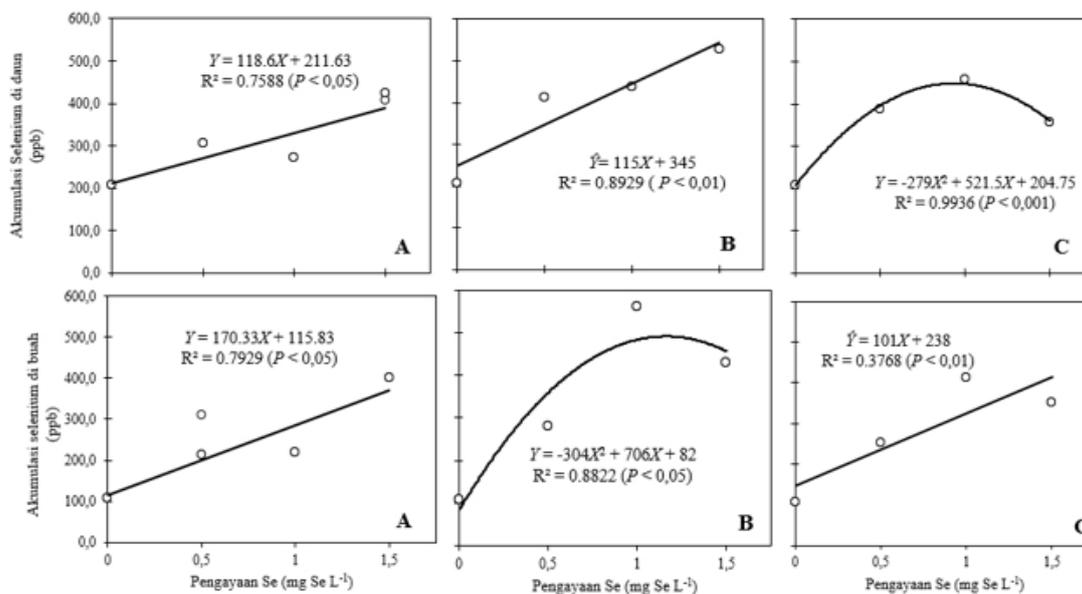


Gambar 4. Hubungan antara kandungan CO<sub>2</sub> daun saat 80 hspt dan pengayaan selenium pada fase vegetatif (A), pada fase generatif (B), dan selama fase vegetatif hingga fase generatif (C) ( $n=9$ )



Gambar 5. Respons laju transpirasi, laju fotosintesis terhadap waktu aplikasi pemberian selenium pada 80 hspt. Keterangan : data yang ditampilkan berupa rerata  $\pm$  simpangan baku; angka yang diikuti dengan huruf yang berbeda menunjukkan adanya beda nyata antar perlakuan pemberian Se berdasarkan uji Beda Nyata Terkecil (BNT) ( $\alpha=0,05$ ); vegetatif = aplikasi selenium pada fase vegetatif; generatif = aplikasi selenium pada fase generatif; vegetatif-generatif = aplikasi selenium pada fase vegetatif hingga generatif; tanpa pengayaan = tidak diberikan selenium pada larutan nutrisi.

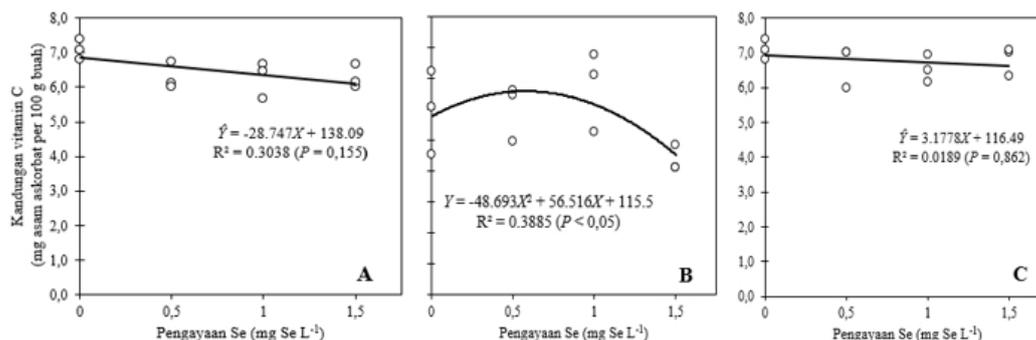
Saat tanaman memasuki 80 hspt, pemberian Se di fase generatif akan menurunkan laju fotosintesis dan transpirasi yang terjadi pada tanaman dibandingkan saat Se diberikan pada fase vegetatif serta seluruh fase pertumbuhan. Tanaman yang tidak diperkaya oleh Se juga menunjukkan hasil fotosintesis dan transpirasi yang menurun dibandingkan dengan yang diperkaya Se.



Gambar 6. Hubungan antara akumulasi selenium pada jaringan daun dan pengayaan selenium pada fase vegetatif (A), pada fase generatif (B), dan selama fase vegetatif hingga fase generatif (C); serta hubungan antara akumulasi selenium pada jaringan buah dan pengayaan selenium pada fase vegetatif (A), pada fase generatif (B), dan selama fase vegetatif hingga fase generatif (C) ( $n=9$ )

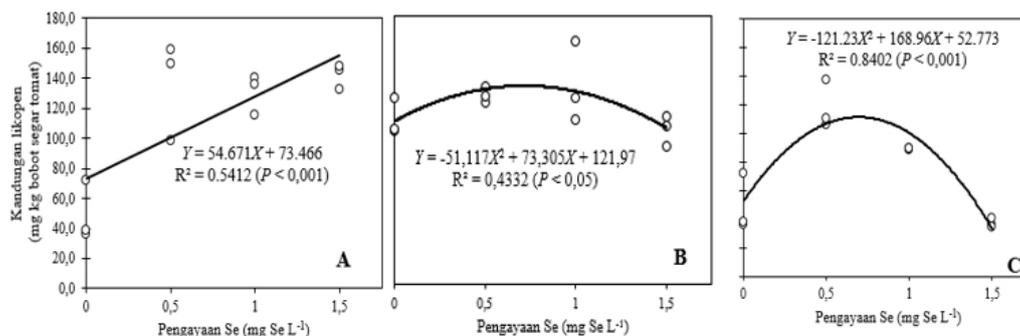
Hubungan regresi juga dapat diketahui antara pengayaan Se dengan konsentrasi Se daun maupun buah pada seluruh waktu aplikasi Se. Pengayaan Se pada fase vegetatif dan generatif tomat memunculkan pola hubungan regresi linier positif antara konsentrasi Se dengan akumulasi Se daun. Kenaikan konsentrasi Se yang diberikan saat fase vegetatif dan generatif tomat hingga 1,5 mg Se L<sup>-1</sup> selalu diikuti oleh kenaikan akumulasi Se daun tomat. Pola hubungan regresi antara konsentrasi Se dengan akumulasi Se daun akan menjadi kuadratik jika Se diberikan sepanjang fase vegetatif – generatif tomat. Akumulasi Se daun mencapai maksimal ketika tanaman tomat diberikan konsentrasi Se sebesar 0,93 mg Se L<sup>-1</sup> sepanjang periode vegetatif – generatif.

Pemberian Se pada fase vegetatif maupun sepanjang fase vegetatif – generatif tomat memunculkan pola hubungan regresi linier positif antara konsentrasi pengayaan Se dengan akumulasi Se dalam buah. Sedangkan Se yang diberikan hanya pada fase generatif tomat menyebabkan konsentrasi Se memiliki hubungan regresi berpola kuadratik dengan kandungan Se buah. Akumulasi Se buah mencapai maksimum pada konsentrasi pemberian Se sebesar 1,16 mg Se L<sup>-1</sup>, jika Se hanya diberikan pada fase generatif.



Gambar 7. Hubungan antara kandungan vitamin C dan pengayaan selenium pada fase vegetatif (A), pada fase generatif (B), dan selama fase vegetatif hingga fase generatif (C) ( $n=9$ )

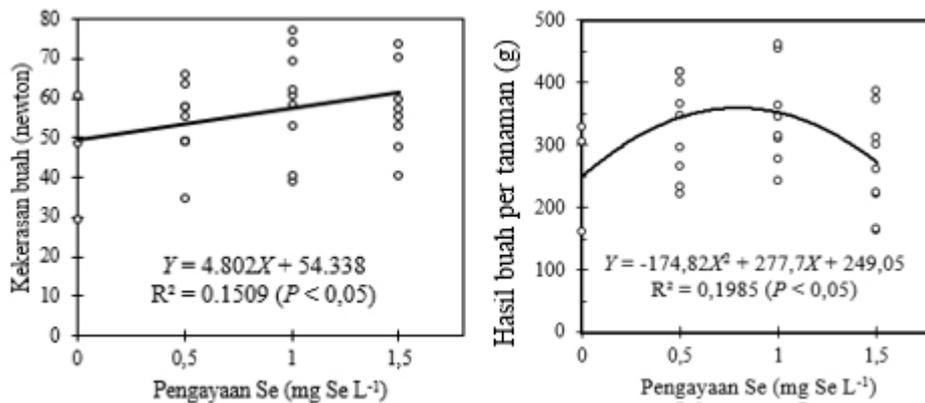
Dari berbagai kondisi fisiologis serta serapan hara Se yang berhasil diakumulasi oleh tanaman mampu mengakibatkan perubahan kualitas buah tomat. Kandungan vitamin C buah tomat memiliki hubungan regresi dengan pola kuadratik dengan konsentrasi pengayaan Se, jika Se diberikan sepanjang fase generatif. Kandungan vitamin C dalam buah tomat mencapai maksimum pada konsentrasi pemberian Se sebesar 0,50 mg Se L<sup>-1</sup>. Kenaikan konsentrasi pemberian Se sampai dengan 0,50 mg Se L<sup>-1</sup> selalu diikuti oleh kenaikan kandungan vitamin C buah tomat, namun demikian bila konsentrasi Se dinaikkan hingga melampaui 0,50 mg Se L<sup>-1</sup> dapat berpotensi menurunkan kandungan vitamin C buah tomat.



Gambar 8. Hubungan antara kandungan likopen dan pengayaan selenium pada fase vegetatif (A), pada fase generatif (B), dan selama fase vegetatif hingga fase generatif (C) ( $n=9$ )

Selain vitamin C, selenium juga mempengaruhi kandungan likopen. Kandungan likopen buah tomat terus meningkat sejalan dengan kenaikan konsentrasi pemberian Se hingga 1,5 mg Se L<sup>-1</sup>, jika diberikan hanya pada fase vegetatif tanaman tomat. Namun demikian, pemberian Se yang dilakukan pada fase generatif maupun sepanjang fase vegetatif – generatif memunculkan hubungan regresi berpola kuadratik

antara konsentrasi pemberian Se dengan kandungan likopen buah tomat. Kandungan likopen buah tomat mencapai maksimum pada konsentrasi pemberian Se sebesar 0,72 mg Se L<sup>-1</sup>, jika Se diberikan hanya pada fase generatif maupun sepanjang fase vegetatif - generatif.



Gambar 9. Regresi kekerasan buah, kemanisan buah, dan bobot segar buah per tanaman terhadap pengayaan Se di dalam larutan nutrisi ( $n=21$ )

Pengayaan Se memberikan efek berbeda pada kekerasan buah saat pematangan. Kekerasan buah cenderung meningkat sejalan dengan kenaikan konsentrasi pengayaan Se hingga 1,5 mg Se L<sup>-1</sup>. Akan tetapi bila konsentrasi Se diberikan lebih dari 0,75 mg Se L<sup>-1</sup> akan diikuti dengan penurunan hasil buah segar per tanaman.

Pengayaan Se pada larutan nutrisi yang dikombinasikan dengan waktu aplikasi Se di berbagai fase pertumbuhan dalam sistem hidroponik agregat berkontribusi terhadap kenaikan kandungan Se daun hingga konsentrasi 1,5 mg Se L<sup>-1</sup> yang diberikan saat fase vegetatif dan generatif. Akan tetapi akumulasi Se dalam daun tomat mencapai maksimal pada konsentrasi pemberian Se sebesar 0,93 mg Se L<sup>-1</sup> bila diaplikasikan sepanjang siklus hidup tanaman. Kandungan Se daun yang meningkat pada tanaman berkontribusi terhadap kenaikan kandungan air nisbi daun. Perbaikan aktivitas metabolisme dalam jaringan daun tomat yang mendapatkan aplikasi Se menyebabkan kebutuhan air daun juga lebih tinggi. Kebutuhan air daun yang lebih tinggi mendorong kenaikan serapan air maupun translokasinya ke daun sehingga meningkatkan kandungan air nisbi daun. Pada penelitian ini, kandungan air nisbi daun mencapai maksimal pada konsentrasi pemberian Se sebesar 0,75 mg Se L<sup>-1</sup>, dan diberikan hanya pada fase vegetatif tanaman tomat. Kenaikan kandungan air nisbi daun tomat saat mendapatkan pengayaan Se berpotensi meningkatkan potensial air jaringan daun tomat. Potensial air jaringan daun tomat diduga juga meningkat sebagai

dampak dari pengayaan Se. Potensial air jaringan daun yang lebih tinggi menyebabkan kenaikan turgor sel-sel penyusun daun, khususnya adalah sel penjaga. Sel penjaga diduga menjadi lebih turgor pada daun tanaman tomat yang mendapatkan perlakuan pengayaan Se, khususnya Se yang diberikan hanya pada fase vegetatif tanaman tomat. Sel penjaga yang lebih turgor berpotensi memperlebar panjang bukaan stomata. Panjang bukaan stomata tanaman tomat mencapai maksimum ketika diberi Se sepanjang fase generatif dengan konsentrasi  $0,76 \text{ mg Se L}^{-1}$ . Sel-sel daun yang lebih turgor ketika mendapatkan pemberian Se secara otomatis memicu aktivitas pembelahan sel. Pembelahan sel-sel daun yang berlangsung lebih aktif berkontribusi terhadap kenaikan jumlah stomata per satuan luas daun. Hasil penelitian memang memberikan informasi bahwa jumlah stomata daun tanaman tomat meningkat secara nyata dan mencapai maksimal ketika diberikan Se dengan konsentrasi  $0,76 \text{ mg Se L}^{-1}$  sepanjang fase vegetatif.

Pengayaan Se dengan konsentrasi tepat berkontribusi terhadap kenaikan kandungan air nisbi daun tomat, jumlah, dan lebar bukaan stomata pada daun tomat. Situasi ini diharapkan mampu mengakselerasi aktivitas fotosintesis tanaman tomat karena tercukupinya kebutuhan air, gas  $\text{CO}_2$ , dan radiasi matahari. Hasil penelitian memberikan informasi bahwa kandungan  $\text{CO}_2$  internal daun menurun sejalan dengan kenaikan konsentrasi pemberian Se hingga  $1,5 \text{ mg Se L}^{-1}$ . Hal ini mengindikasikan bahwa kenaikan konsentrasi Se sampai dengan  $1,5 \text{ mg Se L}^{-1}$  berkontribusi terhadap meningkatnya laju fotosintesis dengan indikasi berupa penurunan kandungan  $\text{CO}_2$  internal daun. Bobot kering tanaman tomat juga meningkat sejalan dengan kenaikan konsentrasi pemberian Se hingga  $1,5 \text{ mg Se L}^{-1}$ . Kenaikan bobot kering tersebut diduga diakibatkan oleh kenaikan jumlah asimilat yang ditimbun. Kenaikan jumlah asimilat yang ditimbun dalam organ tanaman mengindikasikan tingginya produksi asimilat.

Pengayaan Se juga berkontribusi terhadap kenaikan kandungan vitamin C buah tomat. Kandungan vitamin C buah tomat mencapai maksimum jika diberikan Se dengan konsentrasi  $0,50 \text{ mg Se L}^{-1}$  saat fase generatif. Sejalan dengan kandungan vitamin C, kandungan likopen buah tomat juga meningkat seiring peningkatan konsentrasi Se. Vitamin C (asam askorbat) merupakan bahan baku dari biosintesis likopen, sehingga kenaikan kandungan asam askorbat secara otomatis diikuti oleh kenaikan kandungan likopen. Biosintesis likopen juga tergantung pada keberadaan Se. Selenium merupakan elemen yang meregulasi ekspresi gen-gen pengendali biosintesis likopen dan beberapa metabolit sekunder lainnya. Pengayaan Se yang

dilakukan hanya sepanjang fase vegetatif tanaman tomat hingga 1,5 mg Se L<sup>-1</sup> selalu diikuti oleh kenaikan kandungan likopen dalam buah tomat. Namun demikian, jika Se diberikan sepanjang fase generatif maupun sepanjang siklus hidup tanaman tomat, kandungan likopen dalam buah tomat mencapai maksimum pada konsentrasi Se sebesar 0,72 mg Se L<sup>-1</sup>.

Interaksi selenium dengan tanaman bergantung pada konsentrasi yang diberikan (Saffaryazdi et al., 2012). Pada konsentrasi tinggi akan bertindak sebagai prooksidan, yang menyebabkan adanya gangguan metabolisme, menghambat fotosintesis, mengganggu penyerapan nutrisi, serta translokasi pati (Kahle, 1998 cit. Saffaryazdi et al., 2012). Penurunan kandungan vitamin C pada tomat dapat dikaitkan dengan adanya peningkatan stres oksidatif pada konsentrasi Se yang tinggi. Menurut Sharma et al. (2014) konsentrasi Se yang tinggi dapat dikaitkan dengan penurunan aktivitas enzim antioksidan seperti superoksida dismutase (mengkonversi superoksida menjadi hidrogen peroksida), katalase (mengubah hidrogen peroksida menjadi air dan oksigen), askorbat peroksidase (menghilangkan hidrogen peroksida menggunakan askorbat sebagai substrat), glutathione reduktase (berkurangnya aktivitas glutathione) dan konsentrasi asam askorbat. Asam askorbat menurut Nath et al. (2014) juga dapat dikaitkan dengan adanya regulasi cahaya yang memberikan dampak pada ekspresi vitamin C di buah tomat. Adanya akumulasi protein yang disebabkan oleh kehadiran Se juga membawa dampak yang berbeda pada akumulasi vitamin C. Menurut Hochmuth (1991) cit. Indrawati (2012) protein yang terbentuk pada buah sebagian disintesis menjadi vitamin C.

Selain antioksidan vitamin C, antioksidan dominan pada tomat seperti likopen juga menunjukkan adanya pola interaksi yang spesifik pada pengayaan Se di berbagai waktu aplikasi dan dosis yang diberikan. Pemberian konsentrasi yang tinggi saat seluruh fase pertumbuhan membuat stres tanaman menjadi meningkat. Hal tersebut dikarenakan menurut Mechora and Germ (2010) dalam kondisi stres, organisme dapat meningkatkan kebutuhan energinya, ketika stres terlalu besar metabolisme antioksidan dapat dikalahkan. Didalam sel, saat aplikasi Se pada konsentrasi tinggi menyebabkan GSHPx menjadi meningkat untuk melawan kehadiran Se sehingga menunculkan stres oksidatif (Daniel et al., 2015). Stres oksidatif tersebut menunculkan adanya antioksidan pada buah. Selama pematangan buah perubahan yang paling terlihat yaitu pada biogenesis kromoplas yaitu adanya akumulasi karotenoid. Lee et al. (2007) menyatakan bahwa jalur biosintesis karotenoid dapat dipengaruhi oleh Se. Sams et al. (2011) juga melaporkan, pada arabidopsis Se turut mengatur ekspresi *phytoene*

*synthase* sebagai langkah kunci dalam biosintesis karotenoid. Adanya ekspresi *phytoene synthase* yang dipengaruhi oleh Se akan berdampak pada biosintesis karotenoid serta akumulasi likopen pada buah. Aplikasi Se pada konsentrasi yang semakin tinggi cenderung menurunkan hasil buah segar per tanaman tomat secara signifikan. Hal tersebut dimungkinkan adanya toksisitas Se pada jaringan tanaman.

Kandungan likopen dalam buah tomat pada penelitian ini berkisar antara 20-140 mg/kg bobot segar buah tomat atau setara dengan 2-14 mg/100 g buah segar tomat. Apabila Se diaplikasikan pada konsentrasi rendah saat seluruh fase pertumbuhan maka likopen yang dihasilkan berkisar 10-14 mg/100 g buah segar tomat. Menurut survei konsumsi rutin likopen, kebutuhan manusia untuk mengkonsumsi likopen perhari rata-rata antara 0,5-8 mg, tingginya mengkonsumsi tomat dapat menyebabkan adanya masukan likopen sebesar 20 mg/hari. Sehingga untuk memenuhi konsumsi harian likopen dibutuhkan mengkonsumsi tomat 50-90 g buah tomat segar yang diperkaya Se.

### KESIMPULAN

1. Pemberian Se pada kisaran konsentrasi 0,50 – 1,16 mg Se L<sup>-1</sup> yang diberikan hanya sepanjang fase generatif tanaman tomat mampu memperbaiki kualitas buah yang diindikasikan oleh kenaikan kekerasan serta kandungan vitamin C buah tomat.
2. Pengayaan Se pada larutan nutrisi hidroponik dengan konsentrasi pemberian Se 0,50 – 1,16 mg Se L<sup>-1</sup> yang diberikan hanya sepanjang fase generatif tanaman tomat mampu meningkatkan akumulasi Se pada buah serta sintesis antioksidan, khususnya likopen dalam buah tomat sehingga buah tomat tersebut layak untuk digunakan sebagai sumber pangan fungsional (*functional food*) tanpa mengurangi hasil buah per tanaman.

### SARAN

1. Diperlukan kajian lebih lanjut mengenai perkembangan komposisi senyawa metabolit sekunder serta akumulasi selenium pada buah tomat yang diperkaya dengan selenium selama pascapanen
2. Kajian mengenai senyawa metabolit sekunder lainnya yang terkait dengan pengayaan selenium perlu untuk dilakukan lebih lanjut

### DAFTAR PUSTAKA

- Bitterli, C., G. S. Bañuelos, and R. Schulin. 2010. Use of transfer factors to characterize uptake of selenium by plants. *Journal of Geochemical Exploration*. 107: 206-216.
- Daniel, N., G. Subramaniyan, K. Chimannan, I. A. Padikasan. 2015. Antioksidant profiling of seleium fortified tomato (*Solanum lycopersicum*). *International Research Journal Of Pharmacy*. 6: 299-304.
- Demmig-Adams, B., and W. Adams. 1992. Photoprotection and other responses of plants to high light stress. *Plant Mol. Biol.* 43: 599-626.
- Feng, R., C. Wic, and S. Tud. 2013. The roles of selenium in protecting plants against abiotic stresses. *Environmental and Experimental Botany*. 87: 58-68.
- Hajiboland, R., and N. Keivanfar. 2012. Selenium supplementation stimulates vegetative and reproductive growth in canola (*Brassica napus* L.) plants. *Acta agriculturae Slovenica*. 13-19.
- Indrawati, R, D. Indradewa, S. N. H. Utami. 2012. Pengaruh komposisi media dan kadar nutrisi hidroponik terhadap pertumbuhan dan hasil tomat (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Ilmu Pertanian*. (?)
- Jones Jr., J. B. 2005. *Hydroponics : A practical guide for the soilless grower*. 2<sup>nd</sup> ed. CRC Press, New York.
- Lee, G.J., B. K. Kang, T. I. Kim, T. J. Kim, and J. H. Kim. 2007. Effects of different selenium concentrations of the nutrient solution on the growth and quality of tomato fruit in hydroponics. *Acta Hort*. 761:443-448.
- Mechora, S., and M. Germ. 2010. Selenium induced lower respiratory potential in *Glycine max* (L.) Merr. *Acta agriculturae Slovenica*. 29-34.
- Nath, P., M. Bouzayen, A.K. Mattoo, and J.C. Pech. 2014. *Fruit Ripening: physiology, signalling, and genomics*. CAB International. USA.
- Prihmantoro, H. dan Y. H. Indriani. 2003. *Hidroponik sayuran semusim untuk hobi dan bisnis*. Penebar Swadaya. Jakarta.
- Saffaryazdi, A., M. Lahouti, A. Ganjeali, and H. Bayat. 2012. Impact of Selenium Supplementation on Growth and Selenium Accumulation on Spinach (*Spinacia oleracea* L.) Plants. *Not Sci Biol*. 4: 95-100.
- Sams, C. E., Panthee, D. R., Charron, C. S., Kospell, D. A. and Yuan, J.S. 2011. Selenium regulates gene expression for glucosinolate and carotenoid biosynthesis in *Arabidopsis*. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 136: 23-34.
- Sharma, S., N. Kaur, S. kaur, and H. nayyar. 2014. Ascorbic acid reduces the phytotoxic effects of selenium on rice (*Oryza sativa* L.) by up-regulation of antioxidative and metal-tolerance mechanisms. *J Plant Physiol Pathol*. 2: 1-8.
- Temmerman, L. D., N. Waegeneers, C. Thiry, G. D. Laing , F. Tack, and A. Ruttens. 2014. Selenium content of belgian cultivated soils and its uptake by field crops and vegetables. *Science of the Total Environment*: 77-82.
- Turakainen, M., H. Hartikainen, and M. M. Seppanen. 2004. Effects of selenium treatments on potato (*Solanum tuberosum* L.) growth and concentrations of soluble sugars and starch. *J. Agric. Food Chem*. 52: 5378-5382.

Sarlin Kusumaningrum et al., (2016) / *Vegetalika*. 2016. 5(4): 50-66

- White. P. J., H. C. Bowen, B. Marshall, and M. R. Broadley. 2007. Extraordinarily high leaf selenium to sulfur ratios define 'se-accumulator' plants. *Annals of Botany*. 100: 111-118.
- World Health Organization. 1996. *Selenium in trace elements in human nutrition and health*. Geneva, WHO. pp. 105-122.
- Wuryaningsih, S. 1996. Pertumbuhan beberapa setek melati pada tiga macam media. *Jurnal Penelitian Pertanian*. 5:50-57.
- Yang, X., W. Chen, and Y. Feng. 2007. Improving human micronutrient nutrition through biofortification in the soil-plant system: China as a case study. *Environ Geochem Health*. 29 : 413-428.