

Technical Paper

Aplikasi *Zone Cooling* pada Sistem Aeroponik Kentang Di Dataran Medium Tropika Basah

Application of Zone Cooling in Aeroponics System for Medium Wet Tropical Climates

Eni Sumarni, Program Studi Teknik Pertanian, Unsoed, Jl.dr.Soeparno Karangwangkal Purwokerto, 53113. Email: arny0879@yahoo.com

G.H. Sumartono, Jurusan Agroteknologi, Unsoed, Jl. dr. Soeparno Karangwangkal Purwokerto, 53113. Email: sumartono_q@ymail.com

Satyanto Krido Saptomo, Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga Bogor 16680. Email:saptomo@ipb.ac.id

Abstract

Supplies of seed potatoes in Central Java is more than 12,000 tons per year, but that can be provided only about 300 tons. From this condition, there is a large market opportunity for the provision of seed potatoes. Highland for planting potatoes in Indonesia is still limited. Therefore, the cultivation of the potato in the plains of the medium is one of the efforts to help the production of seed. The high temperature in the plains of the medium can be resolved through aeroponics system with limited cooling (zone cooling). The purpose of this study is to obtain an appropriate cooling temperature on seed potato production in medium land. Aeroponic cultivation techniques used with 3 zone cooling (15 °C, 19 °C and 24 °C) and controls. Potato varieties used in this study is Granola is from tissue culture .The results showed that the highest plant cooling obtained at day and night regions 19 °C and 24 °C at night. The highest number of leaves was obtained at 24 °C day and night. The highest number of tubers obtained at 19 °C day and night.

Keywords : *aeroponics, medium wet tropical climates, potato, seed, , zone cooling*

Abstrak

Kebutuhan benih kentang di Jawa Tengah lebih dari 12.000 ton per tahun, tapi baru dapat dipenuhi sekitar 300 ton. Dari kondisi ini, ada peluang pasar yang besar untuk penyediaan bibit kentang. Dataran tinggi untuk menanam kentang di Indonesia masih terbatas. Oleh karena itu, budidaya kentang di dataran medium adalah salah satu upaya untuk membantu produksi benih. Suhu tinggi di dataran medium dapat diselesaikan melalui sistem aeroponik dengan pendingin terbatas (*zone cooling*). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan suhu pendingin yang sesuai pada produksi benih kentang secara aeroponik di dataran medium. Teknik budidaya aeroponik menggunakan 3 zona pendinginan (15 °C, 19 °C dan 24 °C) dan kontrol. Varietas kentang yang digunakan dalam penelitian ini adalah Granola dari kultur jaringan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tinggi tanaman tertinggi diperoleh pada pendinginan siang dan malam suhu 19 °C dan pendinginan 24 °C di malam hari. Jumlah daun tertinggi diperoleh pada suhu 24 °C siang dan malam. Jumlah umbi tertinggi diperoleh pada suhu 19 °C siang dan malam.

Kata kunci: *aeroponik, benih kentang, dataran medium tropika basah, zone cooling*

Diterima: 01 Maret 2013; Disetujui: 03 Juni 2013

Latar Belakang

Benih kentang impor terbatas dan mahal (Armini *et al.*, 1992). Volume impor benih kentang dari tahun 2011-2012 terus meningkat. Impor bibit kentang tahun 2011 mencapai 2,382,000 kg (3,575,000 US\$), dan pada tahun 2012 meningkat menjadi 2 574 000 kg (3,346,200 US\$). Volume impor kentang lebih tinggi dibandingkan dengan ekspornya yang

hanya sebesar 50 000 kg pada tahun 2011 (Dirjen Hortikultura, 2013). Permintaan kentang dari tahun ke tahun dipicu oleh peningkatan industri makanan berbahan baku kentang dan perubahan pola menu makanan masyarakat yang cenderung mengkonsumsi kentang sebagai makanan pokok (Wattimena, 2000). Peningkatan produksi kentang dengan teknik budidaya konvensional memiliki beberapa permasalahan diantaranya: (1) rendahnya

kualitas dan kuantitas benih kentang, (2) faktor topografi, dimana daerah dengan ketinggian tempat dan suhu yang sesuai untuk pertanaman kentang di Indonesia sangat terbatas, (3) daerah tropis Indonesia merupakan tempat yang optimum untuk hama dan penyakit tanaman kentang.

Kentang (*Solanum tuberosum* L.) merupakan salah satu tanaman pangan terpenting ketiga di dunia setelah beras dan gandum untuk konsumsi manusia (CIP, 2011). Budidaya kentang di Indonesia banyak dilakukan di dataran tinggi antara 800-1800 m oleh petani (FAO, 2008). Lahan-lahan kritis di dataran tinggi timbul umumnya disebabkan oleh kegiatan yang secara langsung menyebabkan rusaknya daya dukung tanah/lahan. Pemanfaatan lereng bukit yang tidak sesuai dengan kemampuan lahan, yaitu untuk lahan pertanian yang tidak menerapkan teknologi konservasi, bahkan berubah fungsi menjadi areal permukiman. Hal tersebut meningkatkan resiko kerusakan lingkungan yang lebih kompleks, saat ini terjadi di dataran tinggi (Adriana, 2007). Lahan pertanian mengalami kemunduran kesuburan dan rendahnya penguasaan teknologi baru (Baharudin, 2005). Lahan dataran tinggi dengan suhu udara yang sesuai untuk pertanaman kentang di Indonesia terbatas (Purbiati *et al.*, 2008). Budidaya di dataran tinggi, menjadi kendala dalam menjaga kelestarian alam. Oleh karena itu perluasan penanaman kentang di dataran medium. Dataran medium adalah daerah dengan elevasi (ketinggian) 350-700 m dpl (Handayani *et al.*, 2011; Hamdani, 2009) merupakan salah satu langkah alternatif yang perlu diupayakan untuk membantu peningkatan pendapatan petani (Subhan dan Asandhi, 2006).

Salah satu permasalahan budidaya kentang di dataran medium adalah suhu yang tinggi, sehingga tidak optimal untuk pertumbuhan tanaman kentang. Di daerah beriklim sub tropis dan di dataran tinggi tropika pembentukan umbi terjadi dengan baik pada suhu siang 25 °C dan suhu malam 17 °C atau lebih rendah. Suhu perakaran yang baik untuk pertumbuhan umbi adalah 14.9 sampai 17.7°C (Mahmood *et al.*, 2002). Akumulasi bahan kering akan tertunda pada suhu tanah yang lebih dari 24°C (Timlin *et al.*, 2006; Doring *et al.* (2006). Kisaran suhu tersebut sangat sulit untuk dapat dicapai di dataran medium karena suhu siang dapat mencapai 35 °C dan suhu malam 25 °C (Syarif, 2005). Suhu tersebut dapat menghambat inisiasi umbi kentang. Kondisi tersebut dapat teknik budidaya diatasi melalui penanaman secara aeroponik dan pendinginan terbatas di daerah perakaran (*zone cooling*) (Suhardiyanto, 2009; Sumarni *et al.*, 2013). Pendinginan terbatas ini dilkaukan dengan mendinginkan larutan nutrisi di dalam mesin pendingin dan menyemprotkan ke daerah pengaturan waktu (Sumarni *et al.*, 2013). Sistem aeroponik memiliki beberapa keuntungan, yaitu kemudahan panen, kontrol nutrisi tanaman, efisiensi penggunaan air, dapat dilakukan di lahan yang

tidak subur, memungkinkan panen umbi kentang lebih banyak dan efisien dalam penggunaan lahan (Correa *et al.*, 2009).

Di Indonesia teknologi aeroponik untuk produksi benih kentang di dataran tinggi sudah mulai dikembangkan. Penelitian lebih lanjut dan pengembangan teknologi aeroponik untuk produksi benih kentang di dataran medium masih diperlukan (Gunawan dan Afrizal, 2009). Sistem aeroponik dapat meningkatkan produksi benih, baik kualitas maupun kuantitas kentang, sehingga diharapkan dapat mempercepat peningkatan produksi kentang dan memberikan kontribusi penting bagi perkembangan industri perbenihan kentang dalam rangka memenuhi kebutuhan nasional (Muhibbuddin *et al.* 2009). Informasi persyaratan iklim kentang serta respon fisiologis terhadap lingkungan sangat diperlukan untuk mendapatkan produksi yang tinggi (Shock *et al.*, 2005).

Konsep pendinginan terbatas (*zone cooling*) adalah mendinginkan zona terbatas daerah pertumbuhan tanaman (akar tanaman), metode pendinginan ini tidak ditujukan untuk mendinginkan seluruh volume udara di dalam rumah tanaman. Jadi dibutuhkan sedikit energi dibandingkan pendinginan seluruh volume udara (Suhardiyanto, 2009). Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh teknik aeroponik dengan pemberian *zone cooling* untuk produksi benih kentang di dataran medium beriklim tropika basah.

Bahan dan Metode

Penelitian dilakukan pada bulan Mei 2012 sampai November 2012 di *Greenhouse percobaan* dataran medium Desa Karangmangu, Baturaden, Purwokerto. Ketinggian tempat 500 m dpl. *Greenhouse* yang digunakan dalam penelitian bertipe *standar peak*, arah orientasi utara selatan. *Greenhouse* tersebut memiliki panjang 7 m, lebar 6 m. Alat yang digunakan dalam penelitian meliputi *EC dan pH meter portable*, pompa, termometer, Lux meter, *chiller* dengan daya 300 Watt. Bibit kentang yang digunakan berasal dari kultur jaringan dari Balai Penelitian Tanaman Sayuran (Balitsa) Bandung. Varietas yang digunakan adalah Kultivar Granola, dengan jumlah tanaman dalam 1 box sebanyak 45 tanaman. Nutrisi yang digunakan adalah AB mix. Sistem aeroponik yang digunakan dari bahan *styrofoam* dengan ketebalan dinding samping 2 cm dan bagian atas/penutup 3 cm. Box aeroponik dibuat dengan ukuran 1 m x 1 m. Suhu *zone cooling* yang diberikan sebanyak 9 perlakuan, yaitu 15 °C siang, 15 °C malam, 15 °C siang dan malam, 19 °C siang, 19 °C malam, 19 °C siang dan malam, 24 °C siang, 24 °C malam, 24 °C siang dan malam. Larutan nutrisi di dinginkan dengan menggunakan *chiller* dengan daya 300 Watt. Suhu larutan didinginkan sesuai dengan perlakuan,

pergantian suhu pendinginan siang dan malam dilakukan dengan pemindahan aliran melalui kran. Gambar sistem aeroponik disajikan pada Gambar 1.

Hasil dan Pembahasan

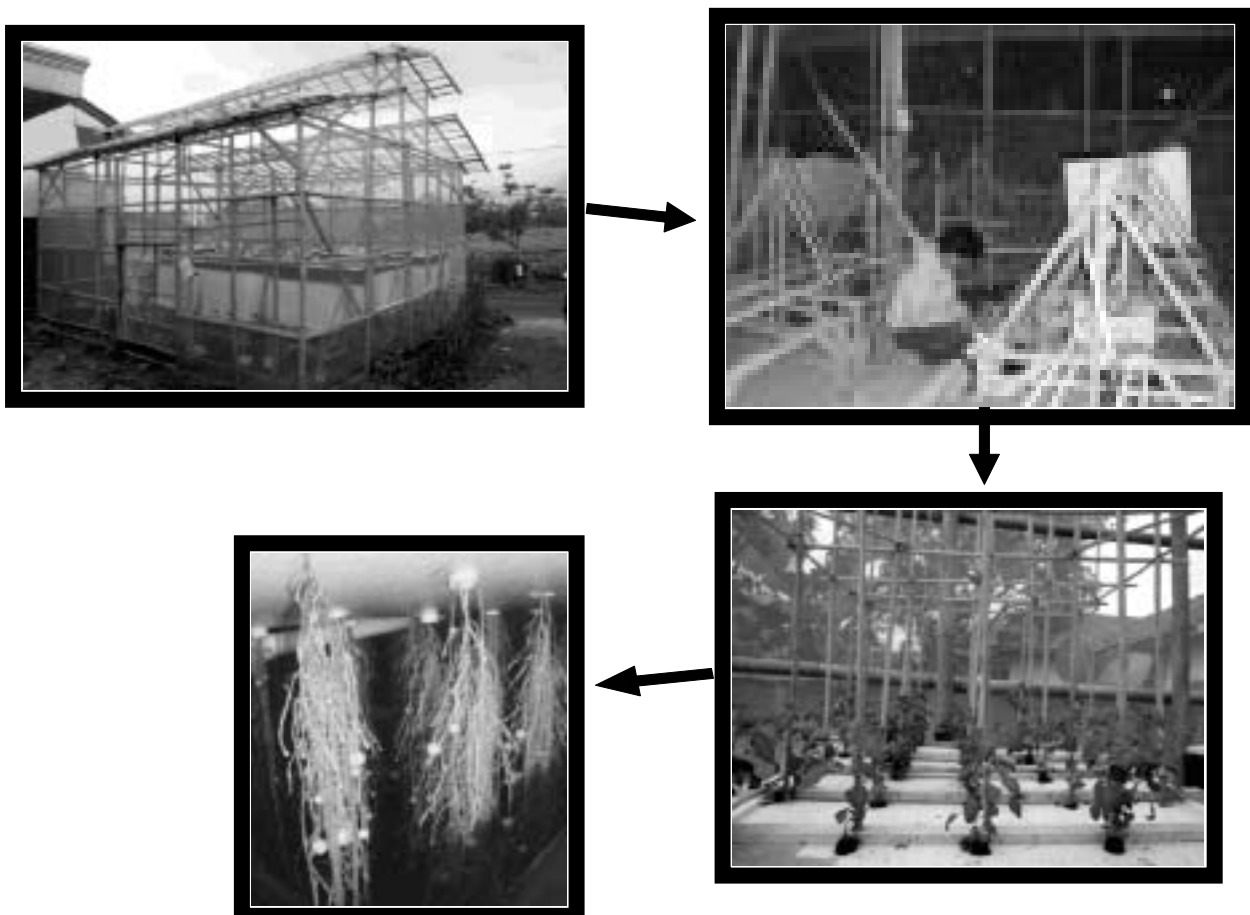
Tinggi dan Jumlah daun tanaman kentang

Pertumbuhan tanaman kentang yang disajikan pada Tabel 1 menunjukkan bahwa suhu *zone cooling* di daerah perakaran memberikan pengaruh yang berbeda (definisi berbeda? tidak nampak adanya uji statistika dari data yang ditampilkan) terhadap tinggi tanaman dan jumlah daun. Tanaman tertinggi diperoleh pada suhu *zone cooling* suhu 24 °C malam sebesar 59.3 cm dan 19 °C siang malam sebesar 51.3 cm. Tanaman terendah diperoleh pada perlakuan *zone cooling* suhu 24 °C siang dan perlakuan kontrol. Tinggi tanaman merupakan karakter kuantitatif, yang ekspresinya sangat dipengaruhi oleh lingkungan (Sofiari, 2009). Suhu udara rata-rata harian di lokasi penelitian 26 °C, suhu maksimum di dalam rumah tanaman dapat mencapai 34°C pada cuaca cerah. Suhu udara malam hari rata-rata mencapai 21.5 °C. Tinggi tanaman Granola dalam keadaan stress hanya mencapai 34,3-43,3 cm (Kusmana dan Basuki 2004; Ruchjaningsih dan Muh. Thamrin, 2005). Dari hal

tersebut dapat disampaikan bahwa perlakuan *zone cooling* dapat mengurangi tanaman layu pada saat bagian atas (daun) tanaman mendapat suhu tinggi (34.7 °C).

Pada *zone cooling*, penurunan suhu dilakukan secara terbatas dengan mengalirkan udara dingin ke daerah perakaran. Meskipun suhu udara di dalam rumah tanaman tinggi, tetapi apabila suhu di daerah perakaran dipertahankan cukup rendah, maka pertumbuhan tanaman akan cukup baik. Matsuoka dan Suhardiyanto (1992) melaporkan bahwa tanaman tomat dengan suhu daerah perakarannya dipertahankan pada tingkat 21 sampai 23°C tumbuh lebih baik dalam sistem *Nutrient Film Technique* (NFT) dibandingkan dengan pada tingkat suhu 25 °C sampai 27 °C. Suhu perakaran merupakan faktor kunci bagi tanaman untuk merombak atau mengubah akumulasi ion apabila terjadi kondisi ekstrim yang menyebabkan reaksi biokimia tidak seimbang (Miyasaka dan Grunes 1997; Kratsch *et al.*, 2006).

Tanaman kentang dengan jumlah daun terbanyak diperoleh pada *zone cooling* siang malam suhu 24 °C, dan jumlah daun terendah diperoleh pada perlakuan *zone cooling* malam suhu 19 °C dan kontrol. Suhu tinggi, terutama pada malam hari menyebabkan pertumbuhan lebih banyak terjadi pada bagian tanaman di atas tanah daripada di bagian bawah tanah. Pertumbuhan



Gambar 1. Sistem aeroponik

Tabel 1. Penampilan tinggi tanaman (cm), jumlah daun dan jumlah umbi pada umur 50 HST pada perlakuan *zone cooling*

Perlakuan suhu <i>zone cooling</i>	Tinggi tanaman (cm)	Jumlah daun
Kontrol	44.9d	52.1de
15 °C Siang	47.2cd	62cd
15 °C Malam	49.4bcd	81.8b
15 °C Siang Malam	49.5bcd	71.6bc
19 °C Siang	51.3bc	65cd
19 °C Malam	50.1bcd	44e
19 °C Siang Malam	59.3a	74.2bc
24 °C Siang	44.7d	59.2cde
24 °C Malam	59.3a	74.2bc
24 °C Siang Malam	54.9ab	101.7a

tanaman kentang sangat dipengaruhi oleh keadaan cuaca. Tanaman kentang tumbuh dengan baik pada lingkungan dengan suhu rendah, yaitu 15 sampai 20 °C, cukup sinar matahari (313 W/m²), dan kelembaban udara 80-90% (Sunarjono, 2007). Tanaman kentang menghendaki suhu yang berbeda untuk setiap periode pertumbuhan. Daerah dengan suhu maksimum 30 °C dan suhu minimum 15 °C sangat baik untuk pertumbuhan tanaman kentang daripada daerah dengan suhu yang relatif konstan, yaitu 24 °C. Suhu tanah yang lebih tinggi dari 24°C menyebabkan aktivitas beberapa enzim yang berperan dalam metabolisme pati tertekan (Krauss dan Marschner, 1984).

Respon tanaman terhadap cekaman suhu tinggi merupakan fenomena yang sangat kompleks (Kotak *et al.*, 2007). Pertumbuhan dan perkembangan tanaman dipengaruhi oleh suhu pada saat air bukan merupakan faktor pembatas (Thuzar *et al.*, 2010). Perlakuan cekaman suhu tinggi pada 22 genotipe tanaman bunga matahari menghasilkan perubahan yang signifikan pada karakter fisiologis tanaman (Amutha *et al.*, 2007). Cekaman suhu tinggi merusak membran sel dengan cara mengubah komposisi dan struktur kimia membran. Identifikasi dan skrining toleransi tanaman terhadap berbagai cekaman abiotik, termasuk suhu tinggi, berdasarkan stabilitas membran sel dengan indikator kebocoran elektrolit (*electrolyte leakage bioassay*) telah dilakukan pada berbagai komoditas. Suhu tinggi menyebabkan rusaknya jaringan daun tanaman, sehingga permeabilitas membran sel meningkat dan akibatnya elektrolit sel menyebar ke luar (ke larutan perendam). Jumlah elektrolit yang terlepas dari sel yang rusak dapat dievaluasi melalui pengukuran penghantaran elektrik larutan perendam. (Alsadon *et al.* 2006, Arvin & Donnelly 2008, Collado *et al.* 2010, Syarifi *et al.* 2012). Suhu mempengaruhi komponen dan metabolisme sel dalam spektrum yang luas. Besarnya cekaman yang ditimbulkan oleh suhu berbeda-beda tergantung dari laju perubahan suhu, intensitas dan lamanya periode cekaman (Sung *et al.*, 2003; Wahid *et al.*, 2007).

Suhu yang tinggi mempengaruhi fluiditas membran sel sehingga fungsi membran dan seluruh aktifitas metabolisme yang tergantung kepada fungsi membran menjadi terganggu (Maestri *et al.*, 2002). Suhu yang tinggi juga dapat menyebabkan enzim-enzim terdenaturasi dan kehilangan fungsinya (Taiz dan Zeiger, 2002). Hasil penelitian Dekov *et al.* (2001) menunjukkan pada tanaman bunga matahari perlakuan suhu tinggi mengakibatkan laju fotosintesis menurun secara nyata, jumlah grana dan tilakoid berkurang, dan membrane kloroplas terganggu.

Jumlah Umbi Kentang pada Perlakuan Zone Cooling dan Penanaman Secara Aeroponik

Jumlah umbi tanaman kentang pada perlakuan *zone cooling* disajikan pada tabel 2. Jumlah umbi berpotensi tinggi diperoleh pada *zone cooling* 19°C siang yaitu 119 umbi/m², 19 °C siang malam sebanyak 72 umbi/m², dan *zone cooling* suhu 15°C siang dan malam sebanyak 51 umbi/m². Bobot umbi tertinggi diperoleh dari *zone cooling* 15 °C siang malam dan terendah pada control dan *zone cooling* 24 °C siang. Ukuran umbi tertinggi diperoleh dari *zone cooling* 15 °C siang dan terendah pada *zone cooling* 24 °C malam.

Tanaman kentang sangat sensitif terhadap cuaca panas (Vayda, 1994). Pembentukan umbi kentang diawali dengan formasi stolon. Jumlah stolon yang terbentuk ditentukan oleh beberapa faktor di antaranya varietas, kedalaman tanam, ukuran umbi bibit, kelembaban tanah. Hasil dan kualitas umbi dikendalikan oleh banyak gen (poligenik). Pewarisan sifat kuantitatif sangat dipengaruhi oleh lingkungan, sehingga tanaman yang baik pada suatu lokasi belum tentu baik apabila ditanam pada lokasi lainnya. Respons hasil yang berbeda pada setiap lingkungan terjadi akibat adanya interaksi antara genotip dengan lingkungannya (Eberhurt dan Russell 1966).

Ewing dan Struick (1982) menyatakan tanaman kentang secara umum tergolong tanaman yang dapat tumbuh di daerah tropis dan subtropis dengan

Tabel 2. Hasil umbi kentang pada perlakuan zone cooling dan kontrol

Perlakuan suhu <i>zone cooling</i>	Jumlah umbi/m ²	Bobot umbi/tanaman (g)	Ukuran umbi rata-rata/tanaman (cm)
Kontrol	4d	1.34	9.23
15 °C Siang	13c	4.50	19.14
15 °C Malam	22c	4.92	16.63
15 °C Siang Malam	51a	7.52	17.52
19 °C Siang	119ab	6.37	16.63
19 °C Malam	42a	4.12	15.49
19 °C Siang Malam	72c	3.06	13.59
24 °C Siang	13c	1.97	13.55
24 °C Malam	4c	2.52	13.08
24 °C Siang Malam	7c	2.03	12.48

ketinggian 800-1500 meter di atas permukaan laut, apabila ditanam di daerah dataran rendah (kurang dari 500 meter diatas permukaan laut) kentang akan sulit untuk menghasilkan umbi, walaupun terbentuk umbi yang dihasilkan akan sangat kecil. Hal ini dikarenakan pada dataran rendah suhu udara tinggi, sehingga respirasi menjadi tinggi dan energi yang digunakan untuk membentuk umbi menjadi berkurang dan mengakibatkan umbi menjadi kecil. Tanaman kentang termasuk dalam tanaman berumur pendek dengan kisaran 100–160 hari (Sunarjono, 2007).

Di daerah subtropika suhu rendah diperlukan untuk pembentukan umbi berbagai varietas. Tanaman yang masih terlalu muda dapat membentuk umbi jika disimpan pada suhu 7 °C selama 7 hari. Di daerah beriklim subtropis dan dataran tinggi tropika pembentukan umbi terjadi dengan baik pada suhu siang 25 °C dan suhu malam 17 °C atau lebih rendah dengan inisiasi umbi pada umur 28 HST (Hay dan Allen, 1978). Di daerah subtropika lama pengisian umbi hanya 50 hari, sedangkan di daerah beriklim tropis 100 hari. Hal itu tidak sesuai dengan umur tanaman di daerah tropika yang hanya tiga bulan dengan lama pengisian umbi 60 hari. Di dataran rendah dengan suhu kritis tentunya lama pengisian umbi lebih pendek. Pendapat lain menyampaikan bahwa suhu tinggi (27 °C) tidak menghambat inisiasi umbi apabila hari panjang dan intensitas cahaya matahari tinggi, hanya saja belum ada batasan sampai suhu berapa masih bisa ditoleransi oleh panjang hari dan intensitas cahaya berapa yang tidak membahayakan, apalagi jika suhu tersebut di atas suhu kritis (30 °C) (Hay allen, 1978).

Suhu tanah (daerah perakaran) yang optimum menurut Ng dan Loomis (1984) adalah 15 °C. Menurut Krauss dan Marschner (1984), laju perkembangan umbi yang masih melekat pada tanaman, jika diperlakukan dengan suhu 30 °C selama 6 hari, akan turun dalam jangka waktu 3 sampai 5 hari dan akhirnya tidak tumbuh sama sekali, sedangkan umbi tanaman yang diletakkan

pada suhu 20 °C ternyata dapat bertambah besar. Pada suhu tanah 30 °C aktivitas beberapa enzim yang berperan dalam metabolisme pati tertekan sehingga terjadi penurunan kadar pati umbi yang secara langsung menghambat perombakan gula menjadi pati. Midmore (1984) menyatakan bahwa suhu tanah tidak hanya mempengaruhi hasil, tetapi juga mempengaruhi saat tumbuh, saat inisiasi, bentuk daun, jumlah daun, dan struktur percabangan. Suhu tanah siang dan malam yang rendah mempercepat pertumbuhan tanaman, sedangkan suhu tanah siang dan malam tinggi memperlambat tumbuhnya tanaman di atas tanah. Suhu tanah siang hari lebih berpengaruh dibandingkan dengan suhu tanah malam hari. Beberapa hasil penelitian melaporkan bahwa suhu tanah tinggi pada siang hari (40 °C) menurunkan laju pertumbuhan umbi, sedangkan suhu tinggi malam hari berkisar 26 °C tidak berpengaruh. Pengaruh suhu tanah tinggi terhadap bobot kering umbi mempunyai hubungan erat dengan pertumbuhan vegetatif tanaman. Indeks panen pada tanaman yang tumbuh dengan suhu tanah lebih tinggi selama pertumbuhannya rata-rata 10% lebih rendah dibandingkan dengan yang tumbuh pada suhu tanah yang lebih rendah (Midmore, 1984;1992).

Menurut Lokhande *et al.* (2003) cekaman suhu tinggi mengakibatkan cekaman oksidatif yang tinggi akibatnya kandungan klorofil menurun. Cekaman suhu tinggi menekan pertumbuhan bunga matahari dan mengakibatkan berkurangnya kandungan pigmen terutama klorofil (Vaz *et al.*, 2004). Hasil penelitian Efeoglu dan Terzioglu (2009) menunjukkan adanya penghambatan akumulasi klorofil pada daun bendera tanaman gandum yang mendapat cekaman suhu tinggi. Cekaman suhu tinggi juga menghambat pembentukan akar pada embrio somatik purwoceng (Nur Ajijah *et al.*, 2010).

Dari hasil di atas dapat disampaikan bahwa tanaman kentang yang diberi perlakuan *zone cooling* menunjukkan pertumbuhan umbi yang lebih

baik dibandingkan dengan yang tidak diberikan perlakuan *zone cooling* (kontrol). Hal tersebut sesuai dengan penelitian sebelumnya pada produksi benih tanaman kentang di dataran rendah (Sumarni 2013a; 2013b), mentimun (Moon *et al.*, 2006), tanaman stroberi (Iwasaki, 2008), selada (He, 2001), brokoli, (Juan, 2009), tanaman gandum (veselova *et al.*, 2003).

Simpulan

1. Tanaman tertinggi diperoleh pada suhu *zone cooling* 19 °C siang malam dan suhu 24 °C malam.
2. Jumlah umbi berpotensi tinggi diperoleh pada *zone cooling* 15 °C - 19 °C siang dan malam.

Ucapan Terima Kasih (optional)

Terima kasih kepada Dikti yang telah membiayai penelitian ini melalui skim Hibah Strategis Nasional tahun 2012.

Daftar Pustaka

- Adriana, R. 2007. Evaluasi kawasan lindung dataran Dieng Kabupaten Wonosobo. Program Magister Lingkungan. Tesis. Pascasarjana. Universitas Diponegoro. Jawa Tengah.
- Alsadon, A.A., Wahb-Allah, M.A., Khalil, S.O. 2006. *In vitro* evaluation of heat stress tolerance in some tomato cultivars. *J. King Saud Univ.*, vol. 19, no. 1, pp.13-24.
- Amutha, R., S. Muthulaksmi, W. B, Rani, K. Indira, P. Mareeswari. 2007. Physiological studies on evaluation of sunflower (*Helianthus annuus* L.) genotypes for high temperature stress. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*. 3(4): 245-251.
- Armini N M, Wattimena GA, Gunawan LW. 1992. Perbanyak tanaman. Hal 17-147. Dalam G.A. Wattimena (ed). *Bioteknologi Tanaman*. PAU-Bioteknologi. IPB. Bogor (ID).
- Arvin, M.J., Donnelly, D.J. 2008. Screening potato cultivars and wild species to abiotic stresses using an electrolyte leakage bioassay. *J. Agric. Sci. Technol.*, vol. 10, pp. 33-42.
- Asandhi, AA., Gunadi N. 2006. Syarat Tumbuh Tanaman Kentang. *Dalam* Buku Tahunan Hortikultura, Seri: Tanaman Sayuran. Direktorat Jenderal Tanaman Pangan dan Hortikultura. Jakarta.
- Baharuddin. 2005. Penerapan sistem perbenihan kentang industri berbasis paket teknologi ramah lingkungan. Laporan Tahun I, Riset Andalan Perguruan Tinggi dan Industri (RAPID). Universitas Hasanuddin, Makassar.
- Collado, M.B., Arturi, M.J., Aulicino, M.B., Molina, M.C. 2010. Identification of salt tolerance in seedling of maize (*Zea mays* L.) with the cell membrane stability trait', *Int. Res. J. Plant Sci.*, vol. 1, no. 5, pp. 126-32.
- Correa, R.M., Pinto, J.E.B.P, Faquine, V., Pinto, C.A.B.P. and Reis, E.S. 2009. The production of seed potatoes by hydroponic methods in Brazil. *Fruit, Vegetable and Cereal Science and Biotechnology*. Special issue 1:113-139 Global Science Books.
- [CIP]. International Potato Centre. 2011. Potato in tropical and subtropical highlands. Dalam <http://www.cipotato.org/> [9 Agustus 2011].
- Dekov, I., T. Tsonevda and I. Yordanov. 2001. Effects of water stress and high-temperature stress on the structure and activity of photosynthetic apparatus of *Zea mays* and *Helianthus annuus*. *Photosynthetica*. 38(3) : 361-366.
- Direktorat Jenderal Hortikultura. 2013. Nilai ekspor dan impor sayuran tahun 2011-2012. www.deptan.go.id (20/09/2013).
- Eberhurt, S.A. and W.A. Russel. 1966. Stability Parameters for Comparing Varieties. *Crop. Sci*. 6:36- 40.
- Efeoglu, B. and S. Terzioglu. 2009. Photosynthetic responses of two wheat varieties to high temperature. *Eur. Asia J. Bio. Sci.* 3(13): 97-106.
- Ewing, E.E., and R.E. Keller. 1982. Limiting factors to the extension of potato into non traditional climates. p. 37-40. *Proc. Int. Congr. Research for the Potato in the Year 2000*. International Potato Centre.
- [FAO]. Foods and Agriculture Organisation. 2008. International year of the potato. Dalam <http://www.potato2008.org/en/potato/index.html> [7 Maret 2011].
- Gunawan dan Afrizal D. 2009. Teknologi aeroponik terobosan perbanyak cepat benih kentang. *Iptek Hortikultura No.5 – September 2009*.
- Hamdani JS. 2009. Pengaruh jenis mulsa terhadap pertumbuhan dan hasil tiga kultivar kentang (*Solanum tuberosum* L.) yang ditanam di dataran medium. *J. Agron. Indonesia*. 37(1):14-20.
- Handayani T, Sofiari E, Kusmana. 2011. Karakterisasi morfologi klon kentang di dataran medium. *Buletin Plasma Nutfah Vol.17 No.2*.
- Hay, R.K.M., and E.J. Allen. 1978. Tuber initiation and bulking in the potato (*Solanum tuberosum* L.) under tropical conditions : The importance of soil and air temperature. *Trop. Agric. (Trinidad.)* 55(3) : 289-295.
- He, J., S,K Lee, and I.C.Dodd. 2001. Limitations to photosynthesis of lettuce grown under tropical conditions: alleviation by root-zone cooling. *Journal of Experimental Botany*. Vol 52. No.539. pp:1323-1330.
- Heidi A. Kratsch, H.A., W. R. Graves, and R. J. Glendon. 2006. Aeroponic system for control of root-

- zone atmosphere. *Environmental and Experimental Botany* 55 (2006) 70–76.
- Kotak, S., J. Larkindale, U. Lee, P. Von Koskull DO, E. Vierling, and K.D. Scharf. 2007. Complexity of the heat stress response in plants. *Current Opinion in Plant Biology*. 10:310-316.
- Krauss, A., and H. Marschner. 1984. Growth rate and carbohydrate metabolism of potato tuber exposed to high temperature. *Potato Res.* 27:297-303.
- Lokhande, S.D., K. Ogawa, A. Tanaka, and T. Hara. 2003. Effect of temperature on ascorbate peroxidase activity and flowering of *Arabidopsis thaliana* ecotypes under different light conditions. *J. Plant Physiol.* 160: 57-64.
- Iwasaki, Y. 2008. Root Zone Aeration Improves Growth And Yields Of Coir-Cultured Strawberry (*Fragaria Ananassa* Duch.) During Summer. *ISHS Acta Horticulturae 779: International Symposium on Growing Media.*
- Juan, C.D.P. 2009. Root zone temperature, plant growth and yield of broccoli [*Brassica oleracea* (Plenck) var. *italica*] as affected by plastic film mulches. *Scientia Horticulturae* 123 (2009) 156–163.
- Kuntjoro, A. S. 2000. Produksi umbi mini kentang G0 bebas virus melalui perbanyakkan planlet secara kultur jaringan di PT. Intidaya Agrolestari (Inagro) Bogor – Jawa Barat. Skripsi. Jurusan Budi Daya Pertanian Fakultas Pertanian IPB. 62p.
- Kusmana dan R.S. Basuki. 2004. Produksi dan Mutu Umbi Klon Kentang dan Kesesuaiannya Sebagai Bahan Baku Kentang Goreng dan Keripik Kentang. *J.Hort.* 14(4):246-252.
- Maestri, N. Klueva, C. Perrota, M. Gulli, H.T. Nguyen, and N. Marmioli. 2002. Molecular genetics of heat tolerance and heat shock proteins in cereals. *Plant Molec Biol.* 48 : 667-681.
- Matsuako, T., H. Suhardiyanto, A.S. Yuwono. 1992. Energy and thermal aspects of intermittent circulation of coolde nutrient solution for NFT cultivation in summer. *Bull.Res.Inst. System Hort. Fac. of.Agric.Kochi Univ.*9:65-71.
- Midmore, D.J. 1984. Potato (*Solanum tuberosum* L.) in the hot tropics. I. Soil temperature effects on emergence, plant devolopment and yield. *Field Crop Res.* 8 : 255-271.
- Midmore, D.J. 1992. The potato crop. The scientific basis for improvement. p.728-793 In P.M. Harris (ed.) *Potato Production in the Tropics*. 2 nd ed. Chapman and Hall, London.
- Moon, J.H., Y.K. Kang, and H.D. Suh. Effect Of Root-Zone Cooling On The Growth And Yield Of Cucumber At Supraoptimal Air Temperature. *ISHS Acta Horticulturae 761: XXVII International Horticultural Congress - IHC2006: International Symposium on Advances in Environmental Control, Automation and Cultivation Systems for Sustainable, High-Quality Crop Production under Protected Cultivation.*
- Muhibuddin A, Zakaria B, Baharudin dan Enny L. 2009. Pengembangan formulasi unsur hara pada produksi benih kentang hasil kultur jaringan dengan teknologi aeroponik. *Jurnal Sains & Teknologi*, Agustus 2009, Vol. 9 No. 2 : 87-96.
- Ng, E., and Loomis, R.S. 1984. Simulation of growth and yield of the potato crop. p.30. Pudoc, Wageningen, Netherlands.
- Nur Ajjah, I. Darmawati, Yudiwanti, Roostika. 2010. Pengaruh suhu inkubasi terhadap pertumbuhan dan perkembangan embrio somatic purwoceng (*Pimpinella pruatjan* Molk.). *JURNAL LITTRI VOL. 16 NO. 2: 56 – 63.*
- Purbiati, T., A. Suryadi, Suharjo. 2008. Pengaruh umur panen kentang varietas Atlantik terhadap hasil dan kualitas umbi di dataran medium Sumberpucung-Malang. *Prosiding Seminar Nasional Pekan Kentang*. ISBN 978-979-8257-35-3. 20-21 Agustus. Lembang. Bandung.
- Ruchjaniningsih dan Muh. Thamrin, 2005. Ketahanan beberapa genotype kentang terhadap penyakit layu (*Ralstonia Solanacearum*) di dataran medium Jatinangor. *J. Agrivivor* 4 (3):221-226. ISSN : 1412-2286.
- Syarifi, P., Amirnia, R., Majidi, E., Hadi, H., Roustaii, M., Nakhoda, M., Alipoor, H.M., Moradi, F. 2012. Relationship between drought stress and some antioxidant enzymes with cell membrane and chlorophyll stability in wheat lines', *Afr. J. Microbiol Res.*, vol. 6, no. 3, pp. 617-23.
- Shock C, Clinton dan Pereira AB. 2005. A review of agrometeorology and potato production. Paper on chapter 13E.
- Sofiari, E. Daya Hasil Beberapa Klon Kentang di Garut dan Banjarnegara. *J. Hort.* 19(2):148-154, 2009
- Subhan dan A. A. Asandhi. 1998. Pengaruh Penggunaan Pupuk Urea dan ZA terhadap Pertumbuhan dan Hasil Kentang di Dataran Medium. *J. Hort.* 8 (1): 983-987.
- Suhardiyanto. 2009. Teknologi rumah tanaman untuk iklim tropika basah. IPB Press. Bogor.
- Sumarni, E., H. Suhardiyanto, K.B. Seminar. S.K. Saptomo. 2013a. Aplikasi pendinginan zona perakaran (root zone cooling) pada produksi benih kentang menggunakan sistem aeroponik. *Jurnal Agronomi Indonesia*. Vol. XLI, No. 2, Agustus.
- Sumarni, E. 2013b. Pengembangan zone cooling system untuk produksi benih kentang secara aeroponik di dataran rendah tropika basah. *Disertasi. Mayor Ilmu Keteknikan Pertanian*. IPB. Bogor.
- Sunarjono. 2007. *Petunjuk Praktis Budidaya Kentang*. Agromedia Pustaka: Jakarta.
- Sung, D.Y., F. Kaplan, K.J. LEE, and C.L. Guy. 2003. Acquired tolerance to temperature extremes. *Trends In Plant Science*. 8(4) : 179-187.
- Taiz L., E, Zeiger. 2002. *Plant Physiology*. Sunderland: Sinauer Associates, Inc.
- Thuzar, M., A. B. Puteh., N. A. P. Abdullah, M. B. M.

- Lassim and K. Jusoff. 2010. The effects of temperature stress on the quality and yield of soya bean (*Glycine max* L. Merrill). *Journal of Agricultural Science*. 2(1): 172-179.
- VAZ, A.P.A., R.C.F. Ribeiro, G.B. Kerbauy. 2004. Photoperiod and temperature effects on in vitro growth and flowering of *P. pusilla*, an epiphytic orchid. *Plant Physiology and Biochemistry*. 42: 411- 415.
- Vayda, M.E, 1994. Environmental Stress and its Impact on Potato Yield. In : J.E. Bradshaw and Mackay, G.R (Eds). *Potato Genetics*, CAB International, Wallingford, pp. 239-261.
- Veselova, S, R. Farhutdinov, A. Mitrichenko, M. Symonyan, and W. Hartung. 2003. The Effect Of Root Cooling On Hormone Content, Leaf Conductance And Root Hydraulic Conductivity Of Durum Wheat Seedlings (*Triticum Durum* L.). *J. Plant Physiol., Special Issue*.360–366.
- Wahid, A, S. Gelani, M. Ashraf, and M.R. Foodlad. 2007. Heat tolerance in plants: an overview. *Environ Exp Bot* 61: 199-223.
- Wattimena, G. A. 2000. Pengembangan propagul kentang bermutu dan kultivar kentang unggul dalam mendukung peningkatan produksi kentang di Indonesia. Orasi Ilmiah Guru Besar Tetap Ilmu Hortikultura. Fakultas Pertanian Institut Pertanian Bogor. 86p.
- Yamano, T., M. Nakanishi, T. Sakano, T. Uchida. 1991. Measurement result of air-conditioning load of a plant factory. *Bulletin of Shikoku Research Institute* (28) : 68-72.