

Pengontrolan Suhu Dan Kelembaban (Rh) Terhadap Pertumbuhan Vegetatif Cabai Merah (*Capsicum Annuum L.*) Pada *Plant factory*

Dewi Maya Maharani *, Sandra Malin Sutan, Purnami Arimurti

Jurusan Keteknikan Pertanian - Fakultas Teknologi Pertanian - Universitas Brawijaya
Jl. Veteran, Malang 65145

*Penulis Korespondensi, Email: maya_maharani@ub.ac.id

ABSTRAK

Cabai merah (*Capsicum annuum L.*) termasuk salah satu tanaman hortikultura yang banyak dibudidayakan karena memiliki nilai ekonomis tinggi dan banyak manfaat. Produktivitas cabai merah saat ini cenderung fluktuatif disebabkan faktor iklim dan berkurangnya lahan. Salah satu faktor iklim yaitu suhu dan kelembaban. Tujuan dari penelitian ini yaitu melakukan pengontrolan suhu dan kelembaban dalam *plant factory* terhadap pertumbuhan tanaman cabai merah (*Capsicum annuum L.*) serta mengetahui pengaruh suhu dan kelembaban selama pertumbuhan tanaman cabai merah (*Capsicum annuum L.*). Pengontrolan suhu dan kelembaban (RH) menggunakan sensor LM35 dan DHT11. Sistem penanaman menggunakan sensor ini dilakukan di dalam *Plant factory*. Sistem ini dilakukan pada suatu ruangan dengan keadaan terkontrol. Pada penelitian ini menggunakan variasi set suhu 24°C, 27°C, 30°C dengan kelembaban yang dikontrol secara konstan yaitu $\pm 80\%$. Apabila terjadi perubahan suhu maka peltier dan kipas akan menyala dan ketika nilai kelembaban berubah maka *humidifier* akan menyala. Parameter pada penelitian ini yaitu tinggi tanaman, jumlah daun, diameter batang yang diukur setiap 3 hari sekali serta luas daun dan kandungan klorofil yang diukur pada akhir penelitian. Data yang diperoleh akan dirata-rata dan disajikan dalam bentuk tabel dan dianalisis. Berdasarkan hasil penelitian, pengontrolan suhu 24°C tidak sesuai dengan kontrol sedangkan untuk suhu 27°C lebih stabil dibandingkan yang lain. Pengontrolan kelembaban nilai yang terbaca berkisar 70%-80%. Suhu terbaik pada penelitian ini terdapat pada parameter tinggi tanaman, diameter batang dan jumlah daun dengan nilai rata-rata secara berurutan 12,92 cm, 0,44 cm dan 8 daun. Parameter hasil luas daun pada suhu 24°C dengan nilai rata-rata 7,87 cm². Parameter jumlah kandungan klorofil tertinggi pada tanaman kontrol dengan nilai 42,5 unit, sedangkan untuk tanaman didalam *plant factory* tertinggi pada suhu 24°C dengan rata-rata 39,2 unit.

Kata kunci : Cabai merah, sensor LM35, sensor DHT11, *plant factory*

Controlling Temperature and Moisture (RH) against Vegetative Growth of Red Chili (Capsicum Annuum L.) at Plant factory.

ABSTRACT

The red chili (Capsicum annuum L.) is one of the most cultivated horticultural crops because it has high economic value and many benefits. The productivity of red chili is likely to fluctuate due to climatic factors and reduced land. One of the climatic factors is temperature and humidity. The purpose of this research is to control the temperature and humidity in the plant factory on the growth of red pepper plant (Capsicum annuum L) and to know the effect of temperature and humidity during the growth of red chili (Capsicum annuum L.). Control of temperature and humidity (RH) using sensors LM35 and DHT11. Planting system using this sensor is done inside Plant factory. This system is performed in a room with a controlled state. In this research use variation of temperature set 24°C, 27°C, 30°C with humidity which controlled constantly is $\pm 80\%$. If there is temperature change then peltier and fan will turn on and when humidity value

change then humidifier will light up. Parameters in this study were plant height, number of leaves, stem diameter measured every 3 days and leaf area and chlorophyll content measured at the end of the study. The data obtained will be averaged and presented in table form and analyzed. Based on the results of the research, the temperature control of 24°C is not suitable with the control while for the temperature 27°C is more stable than others. Humidity control values are 70% - 80% readable. The best temperature in this study was found in high plant parameters, stem diameter and number of leaves with 12,92cm, 0.44cm and 8 leaf mean values respectively. Parameter yield of leaf area at 24°C with average value of 7.87 cm². The parameters of the highest amount of chlorophyll content in control plants with the value of 42.5 units, while for plants in the highest plant factory at 24°C with an average of 39.2 units.

Keywords: DHT11 sensor, LM35 sensor, Plant factory, Red chilli,

PENDAHULUAN

Cabai merah (*Capsicum annuum L.*) merupakan salah satu tanaman hortikultura yang banyak dibudidayakan oleh masyarakat Indonesia karena memiliki nilai tambah cukup tinggi dan memiliki berbagai manfaat seperti menambah nafsu makan, mempercepat penyembuhan luka dan mengobati rasa nyeri. Berdasarkan Badan Pusat Statistik produktivitas cabai merah cenderung fluktuatif dari tahun 2013-2016, dimana produktivitas tertinggi pada tahun 2014 sebanyak 1.074.611 ton/ha.

Tanaman cabai merah dapat tumbuh pada lahan yang tidak begitu mengandung banyak genangan air dan tidak terlalu kering. Suhu dan RH merupakan faktor penting untuk pertumbuhan cabai merah selain faktor nutrisi, cahaya dan yang lainnya. Suhu disetiap daerah akan berbeda-beda, seperti suhu di dataran tinggi dan di dataran rendah. Menurut Nurfalach (2010) suhu ideal untuk tanaman cabai merah berkisar 24°C-28°C. Untuk suhu pertumbuhan ketika fase vegetatif atau pertumbuhan berkisar 21°C -27°C, sedangkan untuk fase generatif atau pembuahan berkisar 16°C -23°C. Jika suhu terlalu rendah atau terlalu tinggi akan merusak kualitas buah yang dihasilkan. Penurunan suhu yang tiba-tiba akan menghambat pertumbuhan buah (Samadi, 2007). Untuk nilai RH yang diperlukan yaitu $\pm 80\%$ (Cahyono, 2007). Suhu dan RH lingkungan sangat bervariasi dan terkadang tidak sesuai dengan syarat pertumbuhan ideal cabai merah. Oleh karena itu, penting dilakukan pengontrolan suhu dan RH dengan menggunakan sistem tanam *plant factory*. Tujuan dari penelitian ini yaitu melakukan pengontrolan suhu dan kelembapan dalam *plant factory* terhadap pertumbuhan tanaman cabai merah (*Capsicum annuum L.*) serta mengetahui pengaruh suhu dan kelembapan selama pertumbuhan tanaman cabai merah (*Capsicum annuum L.*).

Plant factory termasuk salah satu cara penanaman yang dapat dilakukan pada suatu ruangan dengan keadaan terkontrol atau terkendali (Shimizu *et al.*, 2011). Sistem *plant factory* ini memiliki keunggulan yaitu dapat meningkatkan hasil panen karena terisolasi dari lingkungan luar, tidak membutuhkan lahan yang terlalu luas, sehingga dapat mengatasi masalah mengenai lahan yang semakin sedikit. *Plant factory* dapat mengontrol beberapa faktor yang ada di lingkungan sekitar seperti suhu, kelembapan, cahaya, udara, CO₂ dan nutrisi yang mungkin dapat mempengaruhi pertumbuhan tanaman. Untuk faktor suhu dapat di kontrol dengan sensor termokopel, LM35 dan yang lainnya. Faktor kelembapan dapat di kontrol dengan sensor DHT11. Faktor cahaya dapat di kontrol dengan LED (Hwang *et al.*, 2014).

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah DHT 11 yang berfungsi sebagai sensor kelembapan, LM35 sebagai sensor suhu, mikrokontroler Atmega 32, RTC sebagai pengatur

waktu pada program, *luxmeter* berfungsi untuk mengukur intensitas cahaya, pompa untuk memompa nutrisi dan air, bak/timba untuk menampung nutrisi dan air, selang untuk menyalurkan nutrisi dan air dari pompa media tanam, penggaris sebagai alat untuk mengukur tinggi tanaman cabai merah, stopkontak untuk sumber daya, LCD berfungsi untuk menampilkan output program, software BASCOM, kayu triplek sebagai penutup alat *plant factory*, gergaji berfungsi untuk memotong kayu triplek, bor listrik, besi siku, lampu LED sebagai pengganti cahaya matahari, kipas DC sebagai penyebar panas dan pendingin, styrofoam berfungsi untuk penutup *plant factory*, peltier berfungsi sebagai pemanas, dan emiter berfungsi sebagai keluaran air. Bahan yang digunakan pada penelitian ini antara lain tanaman cabai merah varietas Mahameru sebagai bahan penelitian, *polybag* berfungsi sebagai media tanam, air untuk bahan irigasi, dan pupuk NPK sebagai nutrisi untuk tanaman cabai merah.

Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh suhu pada pertumbuhan vegetatif tanaman cabai merah (*Capsicum annum L.*) di dalam *plant factory*. Cabai merah yang digunakan yaitu varietas Mahameru yang diperoleh dari Balai Pengkajian Teknologi Pertanian (BPTP), Karangploso. Parameter yang dianalisa berupa tinggi tanaman, jumlah daun, diameter batang utama, luas daun dan kandungan klorofil selama fase vegetatif. Pada sistem ini menggunakan sensor LM35 sebagai sensor suhu dan sensor DHT11 sebagai sensor kelembaban dengan Atmega 32 dan software BASCOM. Perlakuan dalam penelitian ini dengan memberikan variasi suhu dan kelembaban yang konstan, untuk nilai suhu tanaman yaitu 24°C, 27°C dan 30°C serta RHk ± 80%. Pengambilan data dilakukan setiap tiga hari sekali dimulai dari tanaman umur ke 21 HST. Pada penelitian ini menggunakan 3 tanaman cabai merah dengan 3 kali pengulangan di setiap perlakuan dan 3 tanaman kontrol. Langkah-langkah penelitian ditampilkan dalam Gambar 1.

Pengukuran diameter menggunakan benang yang dilingkarkan pada bagian tengah batang, kemudian panjang benang diukur dengan penggaris sebagai keliling batang dan dihitung menggunakan rumus (Djumanta, 2005)

$$d = k/\pi \quad (1)$$

dimana :

d = diameter batang (cm), k = keliling batang (cm), dan $\pi = 3,14$

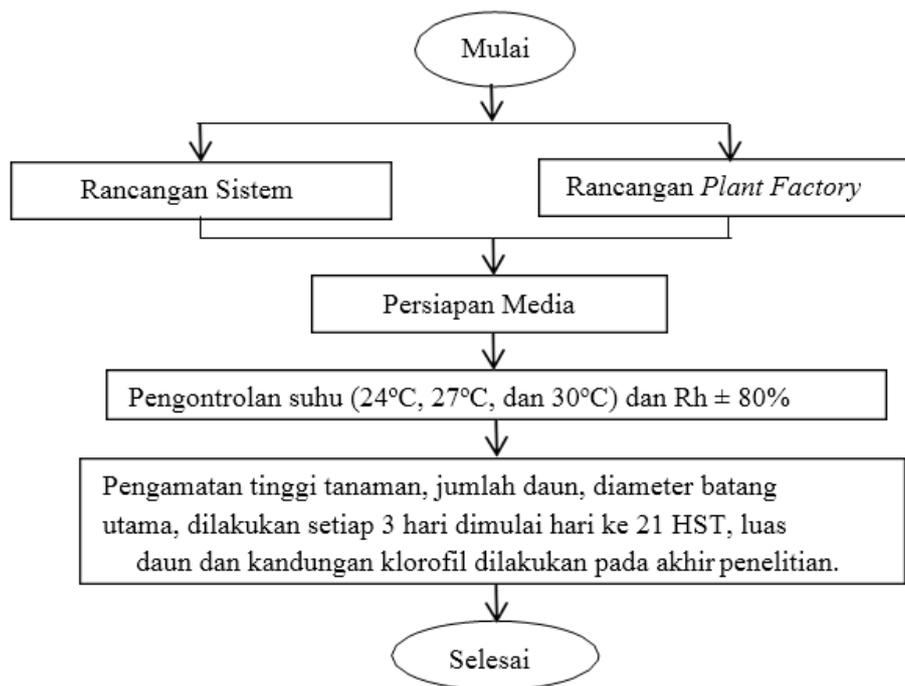
Pengukuran luas daun dilakukan pada akhir penelitian. Pengukuran luas daun menggunakan metode gravimetri atau milimeter blok dengan cara mengambil daun yang paling besar dari setiap tanaman dan bentuknya sempurna. Daun yang telah diambil diletakkan diatas milimeter blok dan membuat pola sesuai bentuk daun tersebut dan ditimbang. Pengukuran luas daun menurut Tonapa (2015) dilakukan dengan menggunakan rumus

$$\text{luas daun} = \frac{\text{massa pola daun (gram)}}{\text{massa total kertas (gram)}} \times 100\% (\text{cm}^2) \quad (2)$$

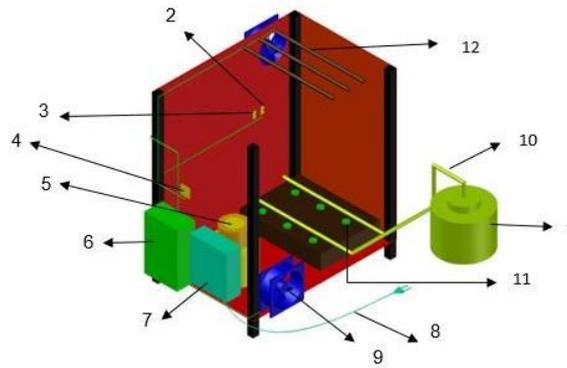
Rancangan penelitian terdiri atas dua bagian, yaitu rancangan sistem dan rancangan *plant factory*. *Plant factory* berbentuk rak dengan 3 ruangan dengan tinggi rak berukuran 2,25 meter, dimensi setiap ruangnya yaitu panjang 64,5 cm, lebar 75 cm dan tinggi 74,5 cm. Setiap ruangan menggambarkan setiap perlakuan suhu yang berbeda. Di dalam setiap ruangan perlakuan terdapat 6 tanaman sehingga totalnya ada 18 tanaman, tetapi yang diukur parameternya hanya 3 tanaman disetiap rak. Jarak setiap tanaman yang ada didalam ruangan berukuran 15 cm dan jarak 5 cm dari tepi triplek. Media tanam yang digunakan pada penelitian ini yaitu menggunakan tanah yang sudah dicampur dengan kompos dan ditempatkan pada *polybag* dengan diameter 15cm, setiap *polybag* akan diisi dengan 1 bibit tanaman cabai merah umur ke 21 HST. *Plant factory* merupakan sebuah sistem yang terisolasi dengan lingkungan luar, sehingga penelitian ini menggunakan triplek dan styrofoam dengan ketebalan 3 cm sebagai penutup dengan tujuan agar terisolasi

dengan lingkungan luar. Rancangan prototipe dari alat *plant factory* yang dibuat bisa dilihat pada di atas pada Gambar 2.

Gambar 3 menunjukkan rangkaian sistem pengontrolan suhu dan kelembaban. Prinsip kerja dari rangkaian ini yaitu suhu dan kelembaban ruangan akan di baca oleh sensor. Data yang telah terbaca akan di konfirmasi pada atmega dan pembacaan data suhu dan kelembaban akan ditampilkan pada LCD. Pada rangkaian ini setiap ruangan akan dikontrol sesuai dengan kebutuhan. Bagian yang dikontrol setiap ruangan yaitu suhu, kelembaban, lampu dan pompa. Ketika suhu berada di atas nilai maksimal yang ditentukan maka kipas akan menyala dan peltier akan mati, dan ketika suhu dibawah nilai minimal maka kipas akan mati dan peltier akan menyala. Untuk pengontrolan kelembaban apabila dibawah nilai minimal yang ditentukan maka humidifier akan menyala dan apabila di atas nilai maksimal yang ditentukan maka humidifier akan mati. Hasil data yang di peroleh akan dicatat. Pada rangkaian ini menggunakan RTC (*Real Time Clock*) yang digunakan memberikan informasi waktu ketika irigasi dan *power supply* yang berfungsi untuk memberikan daya pada rangkaian sistem. Sumber pencahayaan pada sistem ini menggunakan LED strip grip dengan sumber daya listrik 12 Volt DC dan konsumsi maksimum listrik 14,4 Watt. Lama waktu penyinaran didalam *plant factory* ini selama 12 jam dimulai pukul 06.00-18.00 WIB. Untuk pengontrolan on/off lampu LED strip grip menggunakan RTC yang sudah di setting sesuai waktu yang ditentukan sehingga lampu LED akan menyala pada pukul 06.00 dan akan padam pada pukul 18.01.



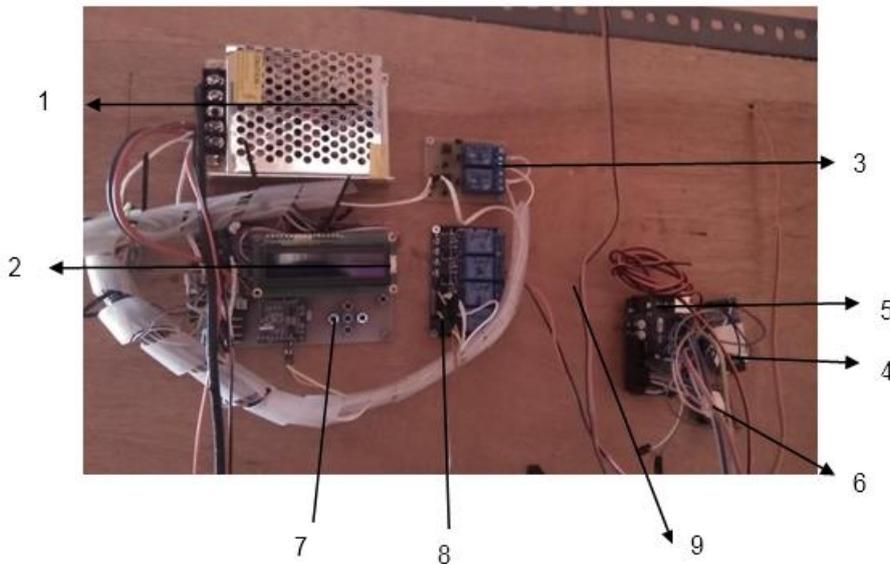
Gambar 1. Diagram Alir penelitian



Gambar 2. *Prototipe Plant factory*

Keterangan:

- | | |
|-----------------------|--------------|
| 1. Pompa | 7. Catu Daya |
| 2. Sensor DHT | 8. Kabel |
| 3. Sensor LM35 | 9. Fan |
| 4. <i>Peltier</i> | 10. Selang |
| 5. <i>Humidifier</i> | 11. Bibit |
| 6. <i>Box Control</i> | 12. LED |



Gambar 3. Rangkaian sistem pengontrolan suhu dan kelembaban

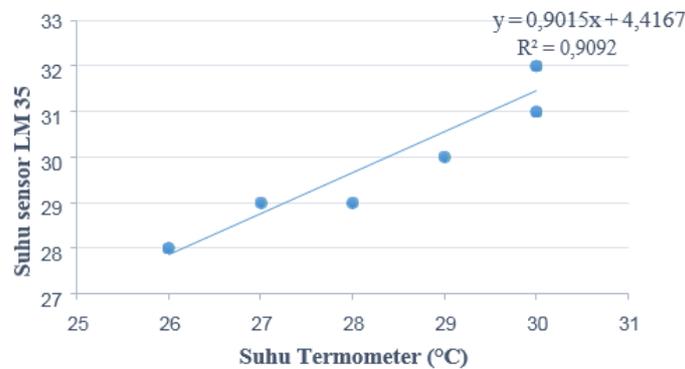
Keterangan:

- | | |
|---------------------------------|--------------------------|
| 1. Catu Daya | 5. Arduino UNO |
| 2. Liquid Crystal Display (LCD) | 6. Real Time Clock (RTC) |
| 3. Relay | 7. Atmega 32 |
| 4. Micro SD | 8. Menu Tombol Setting |
| | 9. Power Supply |

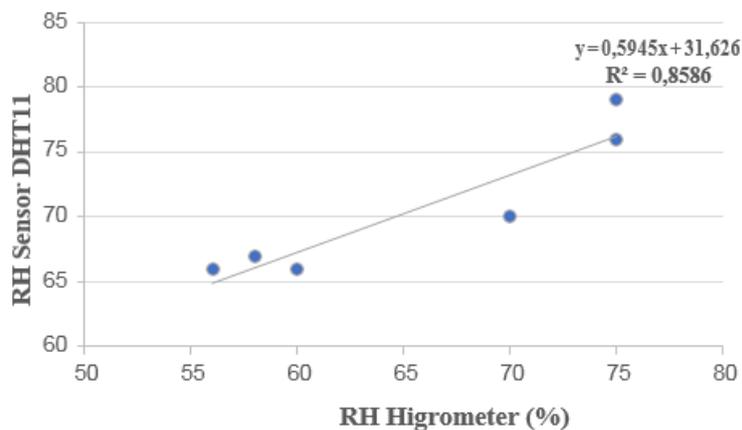
HASIL DAN PEMBAHASAN

Kalibrasi Suhu dan Kelembaban

Kalibrasi ini dilakukan untuk mengetahui suhu dan kelembaban yang tercatat didalam sensor LM35 dan DHT11 sudah sesuai dengan termometer dan higrometer dengan cara membandingkannya. Dari data yang didapat tercatat antara sensor dengan pembanding memiliki selisih $\pm 2^{\circ}\text{C}$. Pada termometer jika tercatat suhu $26,7^{\circ}\text{C}$ maka pembacaan suhu disensor pembulatannya yaitu 27°C . Sehingga diasumsikan data yang terbaca sudah sesuai. Spesifikasi sensor DHT11 yaitu kelembaban 20-90% dan $\text{RH}\pm 5\%$ error. Sedangkan spesifikasi sensor LM35 memiliki tingkat akurasi atau ketelitian yang bagus yaitu $\pm 0,25^{\circ}\text{C}$ pada suhu ruangan dan $\pm 0,75^{\circ}\text{C}$ terhadap suatu rentang suhu -55°C hingga $+150^{\circ}\text{C}$. Pada Gambar 4 hasil kalibrasi sensor LM35 dan termometer dengan nilai $y=0,90151x+4,4167$ dan R^2 0,9092. Pada Gambar 5 merupakan hasil kalibrasi sensor DHT11 dengan higrometer dengan nilai nilai $y=0,5945x + 31,626$ dan $R^2 = 0,8586$.



Gambar 4. Hasil kalibrasi sensor LM35 dan termometer

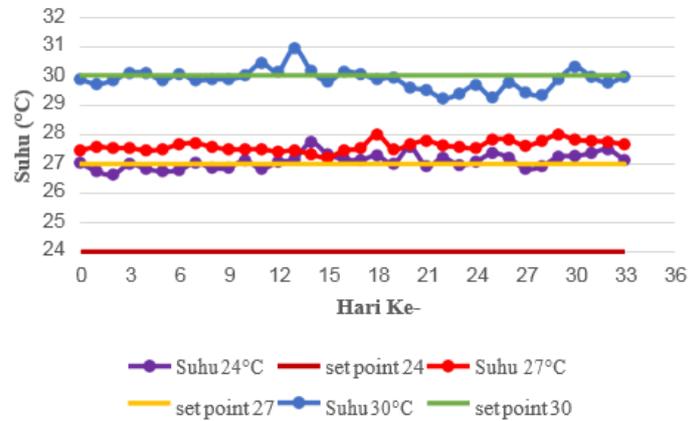


Gambar 5. Hasil kalibrasi sensor DHT11 dengan higrometer

Hasil Pengukuran Suhu pada *Plant factory*

Pada penelitian ini menggunakan setpoint suhu pada rak pertama 30°C , rak kedua 27°C , dan rak ketiga 24°C . Data hasil pengamatan ditampilkan pada Gambar 6. Pada suhu set point 27°C lebih stabil jika dibandingkan dengan set point suhu yang lain, sedangkan pada set point 24°C tidak mencapai suhu yang diinginkan. Ketika penelitian didapat hasil bahwa set point 27°C dan 24°C memiliki data suhu yang hampir sama. Nilai error pada suhu didalam rak dapat disebabkan oleh aktuator pengontrolan suhu dengan peltier yang kurang mampu untuk menaikkan

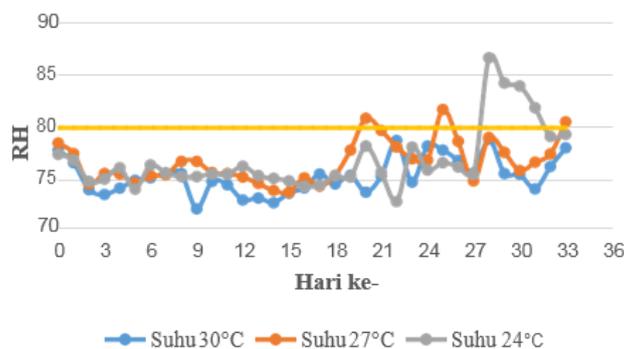
atau menurunkan suhu sesuai dengan suhu kontrol dan kipas yang digunakan kurang mampu untuk mensirkulasi udara didalam rak tanam, sehingga penyebaran panas tidak merata serta. Selain itu dapat dipengaruhi oleh posisi sensor yang kurang sesuai.



Gambar 6. Suhu pada *plant factory* terhadap perlakuan suhu

Hasil Pengukuran Kelembaban pada *Plant factory*

Hasil pengukuran kelembaban setiap rak berbeda dengan selisih yang tidak jauh berbeda. Rata-rata nilai kelembaban pada rak pertama yaitu 75,36 %, rak kedua 76,72% dan rak ketiga 76,90%. Data hasil pengukuran kelembaban selama penelitian dapat dilihat pada Gambar 7. Nilai kelembaban yang dikontrol yaitu ± 80 %, tetapi yang nilai kelembaban yang terbaca berkisar 70% pada sensor DHT11. Hal ini disebabkan humidifier kurang mampu untuk menaikkan nilai kelembaban agar sesuai dengan kontrol, dinding pada *plant factory* yang masih terdapat celah. Selain itu ketika pengambilan data udara dapat masuk kedalam *plant factory* walaupun sudah ditutup dengan kain. Pintu yang sering dibuka tutup untuk pengecekan tanaman dan tanah, pengambilan data dan irigasi juga dapat mempegaruhi. Nilai kelembaban yang rendah berkisar 66%-69% terbaca ketika suhu mencapai sekitar 30°C sampai 32°C yang terjadi siang hari pada pukul 11.00 sampai 14.00 dan nilai RH yang tinggi berkisar 80%-85% terbaca ketika suhu berkisar 26°C sampai 29°C, tetapi rata-rata nilai kelembaban yang terbaca selama penelitian berkisar 70%-80%. Nilai kelembaban yang terbaca masih sesuai dengan syarat tumbuh cabai merah, dimana untuk nilai kelembaban yang bagus untuk pertumbuhan cabai menurut Nurlenawati *et al.* (2010) yaitu 75%, sedangkan menurut Nurfalach (2010) nilai kelembaban optimum untuk tanaman cabai 80%.

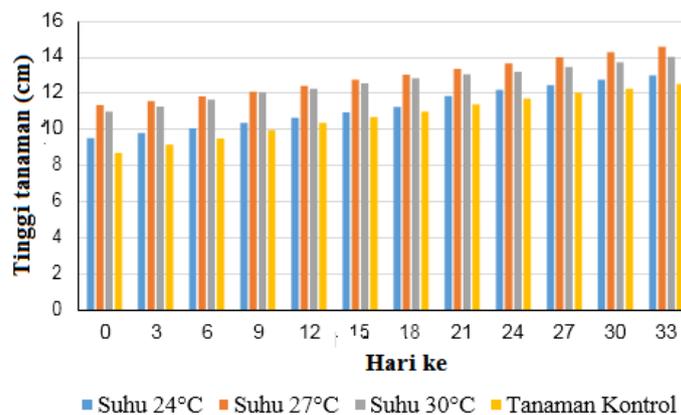


Gambar 7. Pengamatan kelembaban pada set point 80% terhadap perlakuan suhu

Hasil Pertumbuhan Vegetatif Tanaman Cabai Merah

A. Tinggi Tanaman

Gambar 8 merupakan tinggi tanaman cabai merah terhadap perlakuan suhu. Hasil pengukuran tinggi tanaman dari yang paling tinggi ke rendah yaitu rak kedua atau set point 27°C dengan rata-rata tinggi 12,92 cm, rak pertama atau set point 30°C dengan rata-rata tinggi 12,6 cm dan rak ketiga set point 24°C dengan rata-rata tinggi 11,25 cm Untuk tanaman kontrol yang berada diluar sistem rata-rata tingginya 10,78 cm. Perbedaan hasil tinggi tanaman disebabkan karena suhu yang ada disetiap rak berbeda-beda dengan nilai kelembaban yang berbeda. Suhu yang sesuai dengan pertumbuhan tanaman cabai yaitu 27°C sesuai dengan hasil penelitian. Posisi bibit didalam *plant factory* dapat mempengaruhi pertumbuhan, jika terlalu sedikit mendapat pancaran lampu maka pertumbuhan akan terhambat. Sedangkan tanaman kontrol tergantung dengan iklim yang berubah sehingga pertumbuhan sedikit lambat. Hasil ketiga tanaman yang terdapat pada *plant factory* tersebut masih lebih tinggi jika dibandingkan dengan tanaman kontrol walaupun selisih tingginya tidak berbeda jauh, hal ini sudah sesuai dengan prinsip *plant factory* dimana pertumbuhannya akan lebih cepat dibandingkan dengan yang ada diluar sistem.



Gambar 8. Tinggi tanaman cabai merah terhadap perlakuan suhu

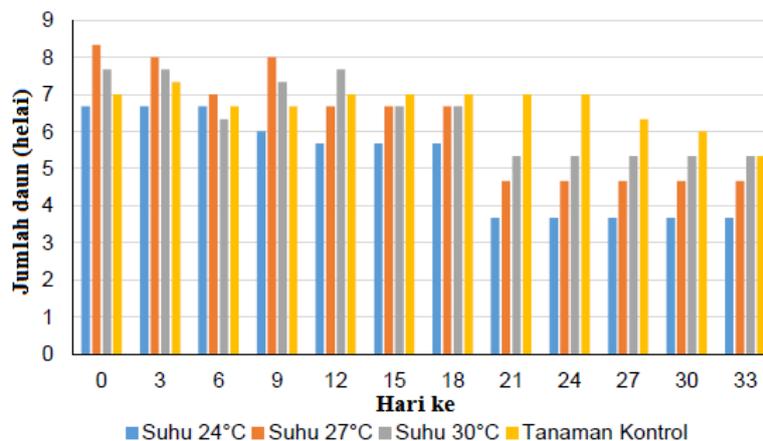
Pertumbuhan tinggi tanaman di dalam *plant factory* dapat dipengaruhi oleh pencahayaan, dimana cahaya yang terang akan membuat tanaman akan lebih cepat mengalami perkembangan. Hal itu dapat dilihat pada grafik dimana setiap 3hari tanaman mengalami peningkatan tinggi dengan suhu dan kelembaban yang sama sehingga dapat menandakan bahwa tanaman tersebut mengalami perkembangan. Menurut Hakim *et al.*, (2015) dalam penelitian *plant factory* menggunakan variasi jumlah LED RGB 100% merah, 75% merah 25% biru, 50% merah 50% biru dan fluorescent pada tanaman selada di dapat hasil bahwa pertumbuhan tinggi tanaman dengan diameter batang semakin hari semakin meningkat hal itu karena tanaman lebih terkontrol dengan baik jika dibandingkan dengan lingkungan luar. Hasil optimum pada penelitian ini pada lampu fluorescent pada suhu 21,9°C. Sehingga hasil penelitian ini sesuai dengan penelitian Hakim dimana pertumbuhan tinggi dan diameter semakin hari semakin meningkat hal itu dapat dilihat pada grafik diatas. Menurut Hamid (2011) suhu yang baik untuk pertumbuhan cabai yaitu 24°C-28°C, pada penelitian ini menggunakan suhu diantara rentang tersebut yaitu suhu 27°C, dimana hasil dari tanaman tersebut paling tinggi diantara kedua rak yang telah disediakan. Suhu yang terlalu tinggi atau terlalu rendah akan menyebabkan tanaman tidak dapat berkembang dengan baik. sedangkan untuk kelembabann yang sesuai berkisar 86-72%. Tetapi menurut Nurlenawati *et al.*, (2010) kelembaban yang optimal pada tanaman cabai yaitu 75%.

Pertambahan tinggi tanaman selain dipengaruhi oleh cahaya juga dipengaruhi oleh nutrisi pupuk NPK, dimana semakin baik tanah untuk menyerap nutrisi maka tanaman akan lebih cepat berkembang. Selain itu dipengaruhi oleh kandungan air walaupun dalam pemberian nutrisi

mendapat jumlah air yang sama tetapi kecepatan air dalam melarutkan nutrisi dan membawa keakar lambat maka akan mempengaruhi pertumbuhan. Pertumbuhan tinggi tanaman dapat dijadikan sebagai indikator terhadap pengaruh lingkungan, selain itu bentuk peningkatan pembelahan sel-sel akibat dari meningkatnya asimilat.

B. Jumlah Daun

Perhitungan jumlah daun dalam penelitian ini dihitung daun yang sudah mekar secara sempurna. Data hasil pengamatan jumlah daun dapat dilihat pada Gambar 9. Hasil rata-rata jumlah daun terbanyak pada rak kedua dengan rata-rata 8 daun, kemudian rak pertama dengan rata-rata 7 daun, dan rak ketiga dengan rata-rata 6 daun. Sedangkan pada tanaman kontrol rata-rata 7 daun. Jumlah daun yang tidak stabil disebabkan pada hari tertentu daun berwarna kuning, layu dan kemudian rontok. Daun berwarna kuning dapat disebabkan oleh beberapa hal seperti kekurangan cahaya matahari, terlalu banyak air dan kekurangan oksigen. Daun yang mengalami bercak berada pada tanaman kontrol, sedangkan tanaman yang berada di dalam *plant factory* tidak terdapat bercak, hal ini sesuai dengan kelebihan *plant factory* yaitu menjaga tanaman dari penyakit. Daun yang berbeda antar rak dapat dipengaruhi juga karena faktor suhu dan kelembaban, dimana setiap rak memiliki suhu yang berbeda. Perkembangan tumbuhan dapat terjadi optimal pada suhu yang sesuai yaitu 27°C, hal itu dapat dilihat pada grafik bahwa rata-rata jumlah daun terbanyak pada suhu 27°C (rak 2). Menurut Funayama dan Terashima (2006) daun yang berwarna kuning dapat disebabkan oleh virus kuning yang ditularkan oleh serangga yang menyerang kloroplas, sehingga kandungan klorofil menjadi berkurang. Untuk jumlah daun pada bibit awal rata-rata 6 sampai 8.



Gambar 9. Pengamatan jumlah daun terhadap perlakuan suhu

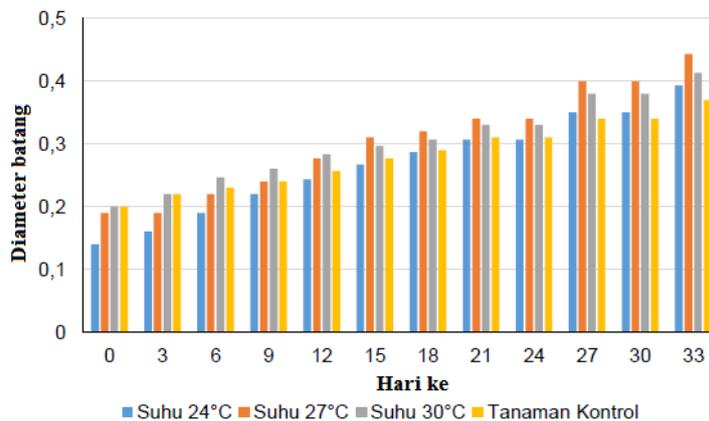
Menurut Shimizu *et al.* (2011) dalam penelitian *plant factory* yang telah dilakukan dengan menggunakan lampu LED RGB, fluorent, light imitated sunlight (SL-L), the light imitated fluorescent lamp light (FL-L) pada tanaman selada. Untuk pertumbuhan jumlah daun mengalami penurunan pada lampu LED biru dibandingkan dengan yang lainnya hal ini karena lampu LED biru kurang sesuai untuk proses pertumbuhan tanaman. Sedangkan untuk tanaman yang mendapat lampu LED merah dan biru lebih mampu untuk mempertahankan jumlah daun dan daun yang berada di bawah lampu merah memiliki daun yang panjang. Untuk jumlah daun terbanyak pada perlakuan light imitated sunlight (SL-L). Hal ini dapat di pengaruhi oleh kualitas cahaya, dimana lampu yang sesuai untuk pertumbuhan berwarna merah. Selain itu karena penyebaran cahaya lampu LED merah dan biru yang kurang merata serta jarak lampu yang kurang sesuai dengan tanaman dapat membuat jumlah daun menjadi berkurang. Sedangkan pada penelitian Kim *et al.* (2011) dengan deep flow technique system menggunakan kombinasi LED merah 95 dan LED biru 25 menghasilkan jumlah daun, panjang daun dan lebar daun tertinggi daripada kombinasi

LED merah 50 dan LED biru 100, hal ini dapat terjadi karena adanya penghambatan pertumbuhan tanaman oleh LED biru.

C. Diameter Batang

Data hasil pengamatan diameter batang dapat dilihat pada Gambar 10. Semakin hari diameter batang cabai merah mengalami peningkatan. Pada gambar 10, batang yang memiliki diameter terbesar hingga terkecil yaitu rak kedua dengan diameter rata-rata 0,44cm, rak pertama dengan diameter rata-rata 0,42 cm dan terkecil rak ke tiga dengan diameter 0,39 cm. sedangkan pada tanaman kontrol diameter rata-rata 0,34 cm. Hasil pengukuran diameter batang pada ketiga rak di dalam *plant factory* lebih besar jika dibandingkan dengan tanaman kontrol. Hal ini sesuai dengan prinsip *plant factory* dimana kelebihan sistem ini yaitu dapat mempercepat proses panen dan memiliki kualitas produk yang baik jika, memiliki pengaturan cahaya yang mudah dimengerti dan membantu kestabilan produksi produk (Hari *et al.* 2012). Perkembangan diameter batang dapat dipengaruhi oleh cahaya lampu yang diterima. Pada penelitian Yang *et al.* (2018) diameter batang tertinggi pada lampu LED kombinasi merah dan biru dan terendah pada lampu LED warna biru. Hal ini karena lampu LED merah mempercepat pertumbuhan.

Perkembangan diameter batang dapat di pengaruhi oleh unsur N dan P yang ada didalam tanah. Unsur N digunakan untuk pembentukan batang dan daun. Menurut Haryantini dan Santoso (2001) dalam Jamilah *et al.* (2016) unsur P atau fosfat memiliki peranan yang sangat penting dalam proses metabolisme di dalam tanaman dan proses pembelahan serta pembesaran sel. Unsur fosfat yang banyak akan mempercepat proses tersebut yang akan berpengaruh terhadap tinggi tanaman dan diameter batang.



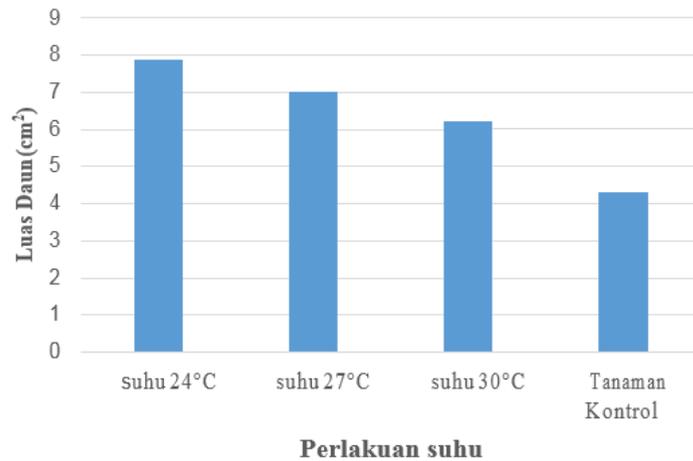
Gambar 10. Diameter batang cabai merah terhadap perlakuan suhu

D. Luas Daun

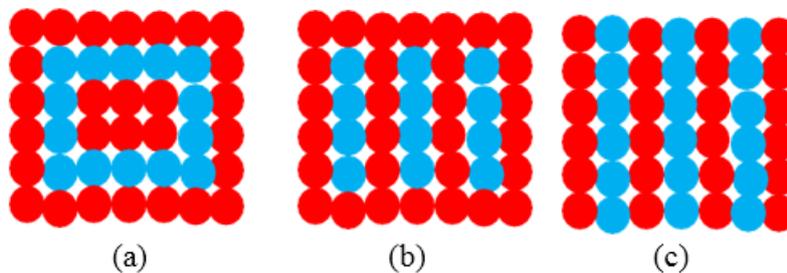
Data hasil pengamatan luas daun dapat dilihat pada Gambar 11 di bawah ini. Nilai rata-rata luas daun suhu 24°C dengan nilai rata-rata 7,87 cm², suhu 27°C dengan nilai rata-rata 7,03 cm² dan suhu 30°C dengan nilai rata-rata 6,23 cm², sedangkan untuk tanaman kontrol luas daun berkisar 4,3 cm². Pengukuran luas daun yang dilakukan menggunakan metode gravimetri dengan bantuan milimeter blok. Perbedaan luas daun antara rak satu dengan yang lainnya pada penelitian dapat disebabkan karena pancaran cahaya yang kurang merata, dimana pada suhu 24°C memiliki luas daun tertinggi. Intensitas cahaya dapat mempengaruhi perkembangan luas daun. Intensitas cahaya yang sedikit akibat dari adanya naungan akan menghasilkan lebar daun yang semakin luas dan menghasilkan jumlah klorofil yang lebih banyak dibandingkan dengan tanaman yang tidak ada naungannya. Tanaman yang melebarkan daunnya ketika berada dibawah naungan digunakan untuk menangkap cahaya yang lebih banyak, hal ini agar proses metabolisme tanaman melalui fotosintesis tetap dapat terpenuhi. Selain faktor yang menyebabkan luas daun berbeda yaitu susunan lampu dalam *plant factory*. Susunan lampu yang dipasang tiap rak berbeda, dimana

cahaya lampu LED warna merah lebih banyak. Susunan lampu tiap rak dapat dilihat pada Gambar 12.

Menurut Chen *et al.* (2013) dalam penelitian *plant factory* menggunakan image processing untuk tanaman selada menghasilkan luas daun tanaman selada semakin meluas dari hari pertama sampai hari ke 12, hal ini karena tanaman lebih terkontrol pada suhu 23°C siang hari dan suhu 19°C malam hari, dengan pencahayaan selama 16 jam. Selain karena keadaan terkontrol juga dipengaruhi oleh nutrisi yang sesuai dengan tanaman serta pemilihan media yang tepat. Luas daun yang semakin lebar berkorelasi positif dengan berat segar selada. Hal ini sesuai dengan penelitian dimana semakin hari daun mengalami semakin luas.



Gambar 11. Perhitungan luas daun terhadap perlakuan suhu



Gambar 12. Susunan lampu LED (a) rak 3 suhu 24°C (b) rak 2 suhu 27°C (c) rak 1 suhu 30°C

Menurut Yusrianti (2012) unsur N pada tanaman berkaitan dengan sintesis klorofil dan sintesis protein ataupun enzim yang digunakan sebagai katalisator yang dibutuhkan tanaman untuk proses fotosintesis. Proses penambahan nitrogen pada tanaman yang cukup akan mempercepat pertumbuhan akar, batang dan daun, sedangkan ketika proses penyerapan nitrogen terlambat atau terhambat maka akan mempengaruhi proses persebaran luas daun yang semakin lama, sehingga ukuran luas daun akan kecil. Menurut Suriatna (1988) dalam Harjanti *et al.* (2014) unsur nitrogen memiliki fungsi untuk menambah protein dalam tanaman, mempercepat pertumbuhan tanaman, menjadikan daun lebih hijau dan mengandung butir-butir hijau yang dibutuhkan untuk proses fotosintesis. Menurut Haryantini dan Santoso (2001) dalam Jamilah *et al.* (2016) selain unsur N yang berpengaruh terhadap pertumbuhan juga terdapat unsur P yang memiliki peranan penting dari beberapa elemen dalam tanaman, seperti asam nukleat yang berfungsi untuk menyimpan energi yang dibutuhkan untuk metabolisme. Unsur P memiliki pengaruh terhadap perluasan permukaan daun sehingga mempercepat proses fotosintesis.

E. Kandungan Klorofil

Pengukuran kandungan klorofil cabai merah dilakukan di akhir penelitian menggunakan alat *chlorophyll meter* dengan tipe SPAD 502 plus. Data hasil pengamatan kandungan klorofil dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Hasil Pengamatan Kandungan Klorofil

Ruang Tanam	Tanaman ke-	Kandungan Klorofil (units)	Rata-rata
Rak 1 (suhu 30°C)	1	29,7	33,2
	2	37,8	
	3	33,5	
Rak 2 (suhu 27°C)	1	41,3	38,4
	2	36,2	
	3	37,7	
Rak 3 (suhu 24°C)	1	39,6	39,2
	2	41,2	
	3	36,9	
Tanaman Kontrol	1	48,8	42,5
	2	40,5	
	3	38,3	

Nilai rata-rata klorofil daun tanaman kontrol lebih tinggi jika dibandingkan dengan tanaman yang ada di dalam *plant factory*. Perbedaan ini dikarenakan cahaya yang didapat di dalam *plant factory*. Intensitas cahaya dapat mempengaruhi jumlah klorofil, dimana intensitas yang sedikit akibat adanya kanopi akan menghasilkan jumlah klorofil lebih banyak dibandingkan dengan yang tidak mendapat naungan. Secara morfologi tanaman yang tumbuh di area yang terdapat kanopi akan menghasilkan jumlah klorofil yang lebih banyak. Hal ini karena tanaman yang tumbuh di area ternaungi memproses nutrisi dari akar. Jumlah kandungan yang banyak pada suhu 24°C dikarenakan mendapat cahaya led merah, dimana led merah dapat membantuk untuk proses fotosintesis untuk menghasilkan klorofil yang lebih banyak. Menurut Xu *et al.* (2016) pada penelitian menggunakan variasi intensitas cahaya antara 50-1500 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ menghasilkan nilai kandungan klorofil tertinggi dibandingkan dengan yang lainnya sebesar 3,23 pg cell^{-1} , hal ini sesuai dengan hasil penelitian dimana nilai intensitas yang rendah akan menghasilkan kandungan klorofil yang tinggi.

Proses fotosintesis akan berlangsung apabila tanaman mendapat cahaya sesuai dengan kebutuhan. Untuk tanaman dengan tipe yang membutuhkan cahaya tinggi memiliki nilai intensitas minimal 4200 lux, sedangkan untuk tanaman tipe yang membutuhkan cahaya rendah memiliki intensitas minimal 27 lux. Menurut Lindawati *et al.* (2015) nilai intensitas pada green house pagi hari berkisar 300-22800lux, siang hari berkisar antara 7200- 78900 lux, dan sore hari berkisar 800-25600 lux. Perbedaan nilai lux pengaruhi oleh jenis LED yang digunakan. Pada penelitian Shimizu *et al.* (2011) dengan menggunakan sistem LED yang berisi warna biru, hijau, dan merah (LUXEON Rebel, Philips Lumileds). Hasilnya tanaman yang diberi cahaya warna

merah (R) dan merah biru(RB) memiliki kandungan klorofil lebih banyak daripada cahaya biru(B).

Menurut Choi *et al.* (2015) pada penelitian efek dari lampu LED dalam pertumbuhan tanaman strawberry didapat hasil bahwa tanaman yang berada di bawah lampu LED merah dan kombinasi merah biru memiliki kandungan klorofil yang lebih tinggi dibandingkan dengan tanaman kontrol serta lampu LED biru. LED lampu merah dan kombinasi memiliki kandungan klorofil 23,2 sedangkan LED biru 20,5 dan tanaman kontrol 20,3. Menurut Yang *et al.* (2011) lampu LED merah dapat meningkatkan kandungan klorofil a pada tanaman lebih tinggi dengan hasil sebesar 2,54 (mg g^{-1}), dibandingkan dengan LED biru dengan hasil 1,99 (mg g^{-1}). Dari penelitian ini dapat diketahui lampu LED merah dan kombinasi paling efektif untuk pertumbuhan tinggi dan pelebaran daun.

Secara umum penggunaan lampu LED berpengaruh positif terhadap pertumbuhan tanaman dibandingkan dengan kontrol. Kombinasi lampu LED merah dan biru dapat meningkatkan produktivitas hasil panen tanaman. Sedangkan tanaman yang berada dibawah lampu LED biru hasilnya sama dengan kontrol. Pada penelitian yang dilakukan kurang sesuai dengan penelitian diatas, dimana nilai kandungan klorofil lebih tinggi pada tanaman kontrol sebesar 42,5 units, sedangkan di dalam *plant factory* tertinggi ada rak ketiga atau suhu 24°C sebesar 39,2 units dan terendah pada rak pertama atau suhu 27°C sebesar 33,2 units.

Pada penelitian ini menggunakan LED strip drip dengan cahaya lampu merah 70% dan biru 30%. Perbedaan tersebut dapat disebabkan karena jenis tanaman, lingkungan dan kondisi tanaman. Selain itu posisi bibit yang kurang tepat didalam *plant factory* dapat mempengaruhi kandungan klorofil karena persebaran cahaya yang kurang dan jarak LED dengan tanaman terlalu jauh. Bibit yang memperoleh cahaya lampu LED biru lebih banyak menghasilkan nilai klorofil yang lebih sedikit. Pada penelitian ini menggunakan jumlah lampu yang sama antara merah dan biru setiap rak akan tetapi hasil pancarannya berbeda, hal ini mungkin dipengaruhi oleh posisi pemasangan lampu yang kurang merata. Pada rak pertama lebih banyak mendapat cahaya biru, dibandingkan dengan rak yang lain sehingga kandungan klorofil yang dihasilkan sedikit.

Jumlah kandungan klorofil pada tanaman dapat dipengaruhi oleh suhu, cahaya, unsur N, Mg, Fe sebagai pembentuk dan katalis dalam sintesis klorofil. Selain itu kandungan klorofil dalam satu daun berbeda tergantung dengan posisi pengambilan klorofil. Proses fotosintesis dan klorofil memiliki keterkaitan yang tidak bisa dipisahkan, dimana klorofil memiliki fungsi utama dalam proses fotosintesis untuk memanfaatkan energi matahari, memicu fiksasi CO₂ untuk menghasilkan karbohidrat dan menyediakan energi. Suhu memiliki peran dalam kandungan klorofil dimana semakin tinggi atau terlalu rendah suhu maka akan mempengaruhi proses fotosintesis yang mengakibatkan jumlah kandungan klorofil menjadi sedikit.

Menurut Lestari *et al.* (2014) suhu yang semakin tinggi tetapi tidak melebihi batas maksimum yang dibutuhkan tanaman akan meningkatkan laju fotosintesis yang dapat mempengaruhi reaksi reduksi CO₂ dan biokimia fiksasi, dimana suhu maksimal tanaman cabai merah 31°C. Tanaman yang memiliki kandungan klorofil tinggi akan efisien dalam penggunaan energi radiasi matahari untuk melakukan proses fotosintesis (Safrizal *et al.*, 2008). Selain suhu faktor cahaya juga dapat mempengaruhi kandungan klorofil, dimana tanaman yang kekurangan cahaya akan menghasilkan daun yang pucat dan tidak sehat karena kandungan klorofil yang sedikit akibat proses fotosintesis terhambat.

KESIMPULAN

Desain *Plant factory* pada penelitian ini mampu mengontrol suhu dan kelembaban dengan menggunakan sensor LM35 dan DHT11. Berdasarkan hasil pengamatan diketahui bahwa desain ini mampu mengontrol suhu pada set point 24°C, 27°C dan 30°C dengan nilai error $\pm 3^\circ\text{C}$, sedangkan hasil pengamatan untuk kelembaban mampu mengontrol kelembaban dengan set point $\pm 80\%$ dengan nilai error $\pm 5\%$. Pengaruh suhu dan kelembaban yang sesuai dengan tanaman cabai pada ruang *plant factory* yaitu suhu 27°C yang menghasilkan tinggi tanaman, diameter batang,

dan jumlah daun yang lebih tinggi dibandingkan pada suhu set point lainnya dengan hasil tinggi tanaman 12,92 cm, diameter batang 0,44cm dan jumlah daun 8 daun. Suhu yang sesuai untuk pertumbuhan luas daun dan kandungan klorofil pada ruang tanam *plant factory* yaitu suhu 24°C dengan hasil laus daun 7,87 cm² dan kandungan klorofil 39,2 unit.

DAFTAR PUSTAKA

- Cahyono, B. 2007. *Cabai Dan Paprika Teknik Budidaya dan Analisis Usaha Tani*. Kanisius. Yogyakarta
- Chen, Wei-Tai., Y.H.F.Yeh., T.Y Liu, dan T.T Lin.2013. An Automatic Plant Growth Measurement System for Plant Factory. *Proceeding of 5th IFAC Conference on Bio-Robotics*. Nasional Taiwan University, Taiwan, pp. 323-327
- Choi,Hyo Gil., B.Y.Moon, dan N.J.Kang.2015. Effects Of Led Light On The Production Of Strawberry During Cultivation In A Plastic Greenhouse And In A Growth Chamber. *Scientia Holticulturae*, vol. 189, pp. 22-31
- Funayama, S. and I. Terashima. 2006. Effect of Eupatorium Yellow Vein Virus Infection on Photosynthetic Rate, Chlorophyll Content and Chloroplast Structure in Leaves of Eupatorium Makinoi during Leaf Development. *Functional Plant Biology Patent*, vol. 33, pp. 165-175
- Hakim, R.M.A., Yusuf H, dan Musthofa L. 2015. Rancang Bangun Plant Factory untuk Pertumbuhan Tanaman Sawi Hijau (*Brassica Rapa var. Parachinensis*) dengan Menggunakan Light Emitting Diode Merah dan Biru. *Jurnal Keteknik Pertanian Tropis dan Biosistem*, vol. 3, no. 3, pp. 382-390
- Hamid, A. 2011. *Bertanam Cabai Hibrida*. Agromedia Pustaka. Jakarta
- Hari, Y., C.L. Yang, dan Suryani, E. 2012. Maximizing Space Utilization In Plant Factory Through Crop Scheduling. *Jurnal SISFO: Inspirasi Profesional Sistem Informasi*, vol. 4, no. 3, pp. 201-206
- Hwang, J., Hoseok J., dan Hyun Y. 2014. Design and Implementation of the Intelligent Plant Factory System Based on Ubiquitous Computing. *Ambient Intelligence - Software and Applications: 5th International Symposium on Ambient Intelligence*, Sunchon National University, pp. 89-97
- Jamilah, M. Purnomowati, dan Uki D. 2016. Pertumbuhan Cabai Merah (*Capsicum annum L*) pada Tanah Masam yang Diinokulasi Mikroriza Vesikula Arbuskula (MVA) Campuran dan Pupuk Fosfat. *Biofera*, vol. 33, no. 1, pp. 37-45
- Kim, M. H., Eun G.C., Gyeong, Y.B., Chi, H.K., Byeong, O. J., Byeong, E. M., Byeong, E. M., Dong, E.K., Hyeon, T.K., 2011. Lettuce Growth Prediction In Plant Factory Using Image Processing Technology. *Ambient Intelligence - Software and Applications: 5th International Symposium on Ambient Intelligence*, Gyeongsang National University, pp. 155-159
- Lestari, T.A., H.Windu A., A.N. Husna dan A.I. Chistian. 2014. *Pengaruh Suhu Terhadap Laju Fotosintesis*. Universitas Gajah Mada.Yogyakarta

- Lindawati, Yesi., Sugeng T., Diding S. 2015. Pengaruh Lama Penyinaran Kombinasi Lampu Led dan Lampu Neon terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Pakcoy (*Brassica Rapa L*) dengan Hidroponikk Sistem Sumbu (*Wick System*). *Jurnal Teknik Pertanian Lampung*, vol. 4, no. 3, pp. 191-200
- Nurfalach, D.R. 2010. Budidaya Tanaman Cabai Merah (*Capsicum annum L.*) di UPTD Perbibitan Tanaman Hortikultura Desa Pakopen Kecamatan Bandungan Kabupaten Semarang. Tesis. UNS. Surakarta
- Nurlenawati, N, Asmanur J, dan Nimih. 2010. Respon Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Cabai Merah (*Capsicum annuum L.*) Varietas Prabur terhadap Berbagai Dosis Pupuk Fosfat dan Bokashi Jerami Limbah Jamur Merang. *Agrika*, vol. 4, no. 1, pp. 9-20
- Samadi, B. 2007. *Budidaya Cabai Merah Secara Komersial*. Yayasan Pustaka Nusatama.
- Safrizal, E. S dan Bakhtiar. 2008. Pengaruh Penggenangan terhadap Pertumbuhan Vegetatif Cabai. *Florategk*. Vol. 3, pp. 61-67
- Shimizu, H., Saito, Y., Nakashima, H., Miyasaka, J., dan Ohdoi, K. 2011. *Light Environment Optimization for Lettuce Growth in Plant Factory*. Pceeding of 18th IFAC World Congress, Kyoto University, Japan, pp. 605-609
- Xu, Yanan., Iskander M.I., Patricia J., Harvey.2016. The Influence Of Photoperiod And Light Intensity On The Growth And Photosynthesis Of *Dunaliella Salina* (Chlorophyta) CCAP 19/30. *Plant Physiology And Biochemistry*, vol. 106, pp. 305-315
- Yang, X., Xiu, H., Shao, L., Li, T., Wang, Y., Wang, R., 2011. Response Of Photosynthetic Capacity Of Tomato Leaves to Different LED Light Wavelength. *Enviromental and Experimental Botany*, vol. 150, pp. 161-171
- Yusrianti. 2012. Pengaruh Pupuk Kandang dan Kadar Air Tanah Terhadap Produksi Selada (*Lactuca sativa L.*). Skripsi. Universitas Riau. Riau