

Rancang Bangun *Machine Vision* Untuk Sistem Pencahayaan Mikro Presisi (*Micro-Precision Lighting System*) Menggunakan Metode *Fuzzy* Pada Tanaman Selada

Rico Santoso*, Yusuf Hendrawan, Rini Yulianingsih
Jurusan Keteknikan Pertanian – Fakultas Teknologi Pertanian – Universitas Brawijaya
Jl. Veteran, Malang 65145

*Penulis Korespondensi, Email: rico_pakpahan@ymail.com

ABSTRAK

Plant Factory (PF) merupakan sistem bioproduksi untuk membudidayakan tanaman dengan lingkungan yang terkontrol untuk mendapatkan kondisi optimal pertumbuha. Pencahayaan merupakan salah satu hal penting yang perlu diperhatikan dalam PF. *Light Emitting Diodes* (LED) merupakan salah satu sumber cahaya buatan yang digunakan dalam PF. Umumnya, LED dalam PF harus dinyalakan seluas tempat budidaya tanaman. Metode seperti ini menyebabkan banyak energi yang terbuang. Penelitian ini merupakan *on-going research* yang bertujuan untuk mengembangkan *machine vision* (MV) berbasis LED *lighting system* (LLS) dalam PF. Tujuan dari penelitian ini yaitu mengembangkan prototipe MV berbasis LLS untuk meningkatkan efisiensi konsumsi energi LED dan mengontrol intensitas LED se-presisi mungkin sesuai kebutuhan tanaman. MV dioperasikan dengan software buatan sendiri. Fungsi software yaitu untuk membuat data penyalan LED berdasarkan intensitas RGB citra. Persyaratan operasional MV yaitu, pertama, *holder* kamera harus ditempatkan pada 7.3 cm X *axis*, 6 cm Y *axis*. Kedua, Semua *holder* lampu ditempatkan pada 0 cm X *axis*, 0 cm Y *axis*, 0° Z *axis* dan semua lampu dinyalakan. Ketiga, webcam Logitech C170 digunakan untuk mengambil citra. Pengujian prototipe MV menggunakan 3 jenis umur tanaman selada; 2, 3 dan 4 minggu. Hasil pengujian menunjukkan rata-rata koefisien determinasi sebesar 0.957. Analisis total konsumsi energi ketika menggunakan MPLS masing-masing adalah 6491.52, 21893.76, 33626.88 Wh dengan efisiensi penghematan energi sebesar 84.28 %, 64.65 %, 59.28%.

Kata kunci: *LED Lighting System*, *Plant factory*, *Machine vision*, Selada

Development of Machine Vision For Led Lighting System on Lettuce

ABSTRACT

Plant Factory (PF) is a bio-production system to cultivate agriculture plants with controlled environment to get optimal growth. Lighting is one of the important things in PF. *Light Emitting Diodes* (LED) is one of the artificial lighting source that used in PF. LED in PF must light on as wide as the place for cultivation. This method makes much energy waste. This study is a part of *on-going research* aimed for developing *machine vision* (MV) based LED *Lighting System* (LLS) in PF. The objective of this study is to develop prototype of MV based LLS to increase efficiency of energy consumption on LED and controlling LED intensity as the plant need as precisely as possible. MV is operated by self-built software. The function of software is to make data to light on LED based on RGB intensity. The term of operational of MV is, first, camera holder is place at 7.3 cm X *axis*, 6 cm Y *axis*. Second, all of holder lamp is placed at 0 cm X *axis*, 0 cm Y *axis*, 0° Z *axis* and all lamp is on. Third, webcam Logitech C170 is used to capture image. Evaluation of MV prototype use 3 kind grow level of lettuce, 2 weeks, 3 weeks, and 4 weeks. The result of evaluation shows average of R square which is 0.957. Total energy consumption analysis when using MPLS is 6491.52 Wh, 21893.76 Wh, 33626.88 Wh respectively. Efficiency of energy saving for 3 level growth of lettuce when using MPLS respectively is 84.28 %, 64.65 %, 59.28%.

Keywords: *LED Lighting System*, *Plant factory*, *Machine vision*, *Lettuce*

PENDAHULUAN

Plant Factory (PF) merupakan tempat membudidayakan tanaman pertanian dengan lingkungan yang terkontrol dan terisolasi (Shimizu *et al*, 2011) sehingga tanaman dapat tumbuh pada kondisi yang optimal. Salah satu faktor yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman yaitu cahaya. Tanaman menggunakan cahaya untuk melakukan fotosintesis. Oleh karena *plant factory* merupakan ruangan tertutup maka cahaya matahari tidak dapat digunakan sebagai sumber cahaya utama, sehingga cahaya yang digunakan dalam *plant factory* berasal dari sumber cahaya buatan (*Artificial Light Source*). Salah satu sumber cahaya buatan yang dapat digunakan dalam *plant factory* yaitu *Light Emitting Diodes* (LED)

Umumnya, penggunaan LED di dalam *plant factory* disusun secara matriks 2 dimensi dengan jarak tertentu diatas tanaman yang dibudidayakan dengan luasan LED matriks sebesar tempat budidaya tanaman sehingga tanaman dapat menerima cahaya untuk melakukan fotosintesis. Sistem seperti ini kami sebut sistem pencahayaan konvensional (CLS/ *Conventional Lighting System*). Sistem pencahayaan seperti ini memiliki kekurangan yaitu tidak efisiennya penggunaan energi listrik dalam penyalan LED apabila tanaman masih dalam fase awal pertumbuhan. Sehingga dibutuhkan sebuah sistem pencahayaan dalam *plant factory* yang mampu menyalakan LED matriks sesuai dengan luasan tanaman yang dibudidayakan. Selain itu, kebutuhan cahaya per area daun berbeda-beda oleh karena kandungan klorofil pada daun tidak terdistribusi secara homogen (Fukshansky *et al*, 1993). Sehingga apabila sistem pencahayaan konvensional tetap dilakukan akan mengakibatkan kerusakan pada sistem fotosintesis pada daun (Demig-Adams & Adams (1996). Oleh karena itu selain sistem yang dapat mengontrol luasan nyala LED sesuai dengan luasan tanaman yang dibudidayakan, sistem pencahayaan dalam *plant factory* juga harus mampu mengontrol intensitas cahaya LED sesuai dengan kebutuhan tanaman se-presisi mungkin. Sistem seperti ini kami sebut sistem pencahayaan mikro presisi (MPLS/ *Micro-Precision Lighting System*).

Penelitian ini bertujuan untuk membangun sistem yang mampu mengendalikan luasan nyala LED sesuai dengan luasan tanaman selada dan juga melakukan pengontrolan terhadap intensitas cahaya pada masing-masing LED. Pengontrolan intensitas dilakukan dengan menggunakan metode *fuzzy*. Data yang digunakan dalam metode *fuzzy* yaitu piksel *Red*, *Green*, dan *Blue*. Ketiga piksel ini didapatkan dari ekstraksi citra RGB tanaman selada. Pengontrolan menggunakan metode *fuzzy* membutuhkan basis pengetahuan atau aturan-aturan (*rule*) yang harus disusun oleh penelliti. Pembuatan basis pengetahuan *fuzzy* dilakukan atas dasar besarnya nilai piksel pada citra. Menurut Merzlyak (1999) dan Gitelson (1999), perubahan warna pada daun yang disebabkan oleh usia daun yang semakin tua berhubungan dengan pengurangan kandungan klorofil. Oleh karena terdapat perubahan visual pada warna daun maka perubahan ini dapat dideteksi dengan menggunakan citra dari tanaman yang dibudidayakan. Asumsi dalam penelitian ini yaitu semakin besar nilai piksel RGB citra tanaman selada (daun selada muda) maka intensitas LED yang perlu dikontrol semakin besar. Sedangkan semakin kecil nilai piksel RGB citra tanaman selada (daun selada tua) maka intensitas LED yang perlu dikontrol semakin rendah.

Sistem pencahayaan mikro presisi yang dibangun dalam *plant factory* berupa *machine vision*. Pengembangan *machine vision* dalam *plant factory* memiliki tugas yaitu mengukur luasan tanaman selada yang dibudidayakan lalu menyalakan LED matriks sesuai dengan luasan tanaman selada. Selain itu, *machine vision* juga bertugas menkonversi piksel RGB dari citra tanaman selada ke bentuk intensitas LED yang perlu dikontrol. *Machine vision* yang dikembangkan untuk sistem pencahayaan mikro presisi dalam *plant factory* ini masih dalam skala prototipe yang hanya dapat ditempati oleh satu tanaman selada.

METODE

Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan adalah, komponen-komponen elektronika yang digunakan untuk membangun LED *controller* dan dapat melakukan komunikasi serial, *acrylic*, rangka besi, lampu

Philips 14 watt, luxmeter, kamera, beberapa peralatan pengukur dimensi panjang, gerinda potong, bor. Adapun bahan yang digunakan yaitu selada.

Metode

Pembuatan *machine vision* dilakukan dengan beberapa tahapan yaitu pembuatan LED *controller* yang dilengkapi dengan komunikasi serial, kerangka *machine vision*, *holder* kamera, *holder* lampu, dinding penutup, tempat budidaya dan software *Micro-Precision Lighting System* (MPLS) yang dibangun dengan menggunakan Visual Basic 6.0.

Software MPLS yang dikembangkan terdiri dari 3 form utama, diantaranya; Form 1 berfungsi sebagai form yang menghubungkan kamera yang digunakan pada saat pengambilan citra. Form 2 berfungsi untuk mengolah citra tanaman selada yang telah didapat dengan menggunakan algoritma-algoritma yang telah dikembangkan (lihat gambar 1). Form 3 berfungsi sebagai form yang menghubungkan antara software MPLS dengan LED *controller* sehingga data penyalakan LED dapat dikirim untuk menyalakan LED matriks.

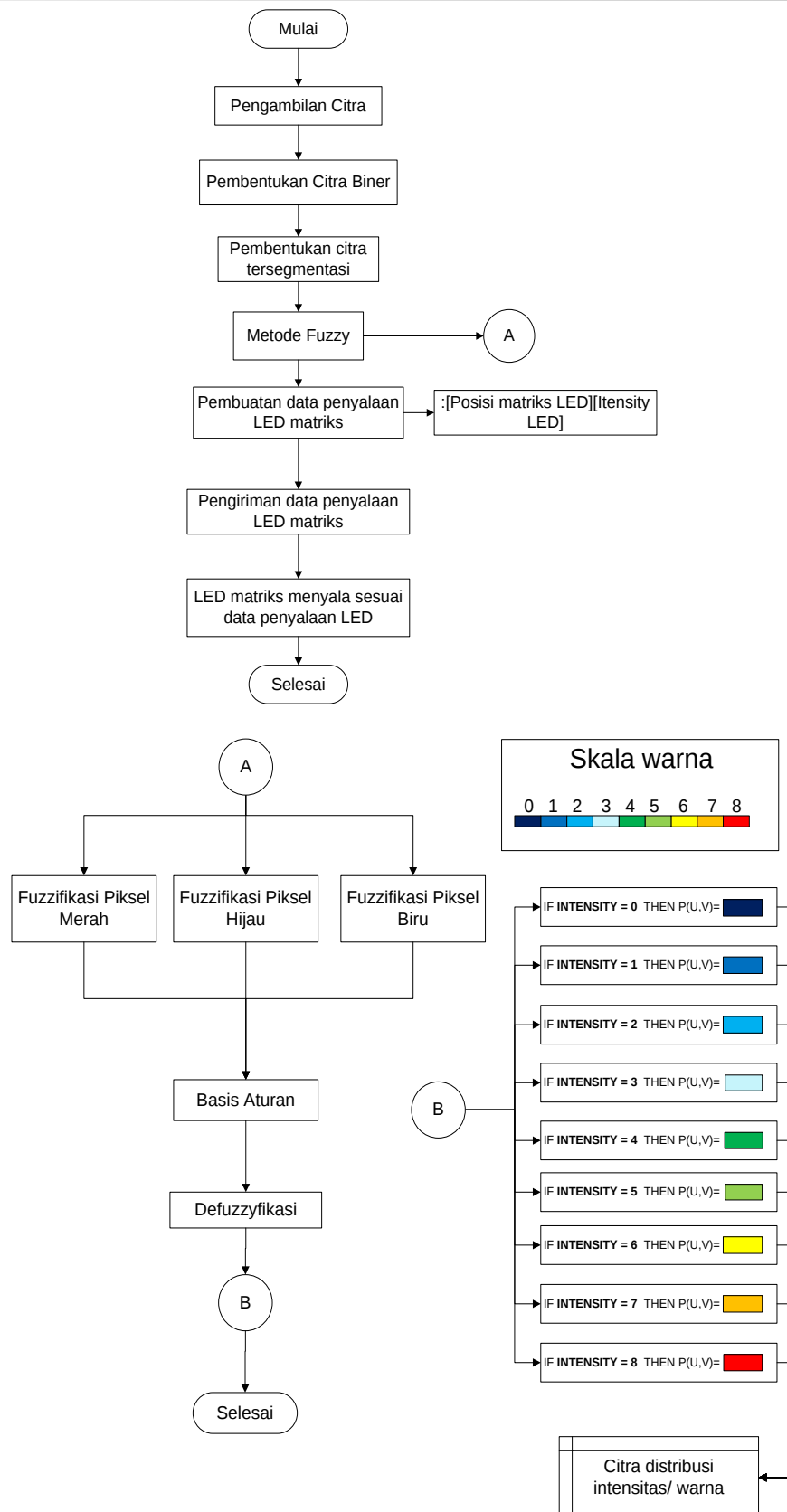
Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode yang berbeda untuk setiap pengujian. Pengujian pertama yaitu penentuan jenis kamera yang sesuai untuk digunakan pada *machine vision*. Metode yang digunakan yaitu *sensitivity analysis* dimana 3 jenis kamera (Webcam Logitech C170, DSLR Canon EOS 60D, dan Canon Ixus 155) digunakan untuk mendapatkan citra tanaman selada. Kamera yang sesuai dipilih berdasarkan kecepatan ekstraksi piksel RGB pada masing-masing citra tanaman selada yang didapatkan oleh ketiga jenis kamera.

Pengujian kedua yaitu penempatan kamera pada *machine vision*. Penempatan kamera memiliki peranan penting karena pengukuran luasan tanaman selada dilakukan dengan menggunakan ukuran citra tanaman selada yang sesuai dengan luasan LED matriks yaitu sebesar 32 x 32. Penyesuaian antara luasan LED matriks dengan ukuran citra tanaman selada dilakukan dengan menggambar garis tepi di tempat budidaya tanaman dimana luasan garis tepi ini merepresentasikan luasan LED matriks. Metode yang digunakan untuk mendapatkan ukuran citra yang sesuai luasan LED matriks dilakukan dengan menggunakan *sensitivity analysis* terhadap pengaturan sumbu X dan Y pada *holder* kamera. Citra tanaman selada dapat digunakan untuk pemrosesan data ketika ukuran citra adalah sebesar luasan garis tepi di tempat budidaya tanaman.

Pengujian ketiga yaitu penempatan lampu supaya citra yang didapatkan tidak memiliki bayangan ketika proses pengambilan citra dilakukan. Metode yang digunakan pada pengujian ini yaitu *sensitivity analysis* terhadap bayangan pada citra tanaman selada yang didapatkan ketika pengaturan *holder* lampu telah dilakukan. Pengaturan posisi lampu dapat dilakukan dengan merubah sumbu X, Y dan Z pada *holder* lampu. Pengaturan lampu dikatakan sesuai ketika jumlah bayangan yang dihasilkan kurang dari 41 piksel.

Pengujian keempat yaitu performansi *machine vision* dalam menyalakan LED sesuai dengan data yang telah disediakan software MPLS. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *comparative analysis* terhadap intensitas yang dihasilkan LED dengan simulasi yang dihasilkan software MPLS. Pengujian ini dilakukan dengan melakukan pengukuran intensitas LED (lux) dengan menggunakan luxmeter pada masing-masing pengaturan level intensitas LED (0-8) melalui software MPLS. Setelah semua LED (1024 LED) diukur intensitas dengan menggunakan luxmeter kemudian dikonversi ke bentuk level intensitas LED. Setelah semua data telah dikonversi, *ploting* data dilakukan untuk menentukan koefisien determinasi dari data-data yang didapatkan.

Pengujian kelima yaitu penentuan performansi *machine vision* dalam konsumsi energi listrik dan seberapa besar persentase penghematan energi listrik yang didapatkan ketika menggunakan sistem pencahayaan mikro presisi.

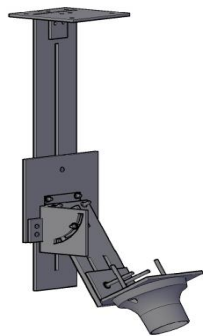


Gambar 1. Algoritma pemrograman secara umum

HASIL DAN PEMBAHASAN

Machine Vision

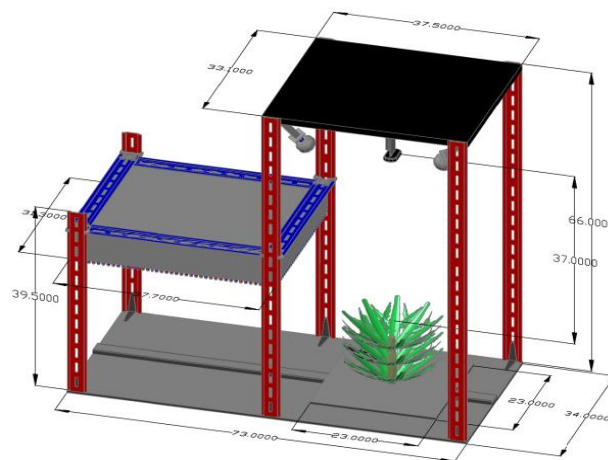
Pada gambar 2 hingga gambar 3 merupakan hasil rancangan *machine vision* yang telah dikembangkan. Ketika *machine vision* dioperasikan *holder* lampu (gambar 2) dapat berfungsi dengan baik sehingga lampu dapat diatur pada sumbu X, Y dan sudut arah pencahayaan pada saat pengambilan citra. Sehingga pengujian untuk mendapatkan citra tanpa bayangan dapat dilakukan. *Holder* kamera (gambar 3) dapat berfungsi dengan baik sehingga kamera dapat diatur pada sumbu X dan Y hingga didapatkan citra yang merepresentasikan luasan LED matriks. *Machine vision* (Gambar 3) secara keseluruhan dapat beroperasi dengan baik dalam hal menyalakan LED matriks.



Gambar 2. *Holder* Lampu



Gambar 3. *Holder* Kamera



Gambar 4. *Machine Vision* secara keseluruhan

Adapun urutan langkah-langkah yang perlu diperhatikan ketika ingin menggunakan *machine vision* dan software MPLS yang telah dikembangkan. Pertama, sediakan satu tanaman selada dan tempatkan pada tempat budidaya tanaman. Kedua, tutup *machine vision* dengan menggunakan dinding penutup. Hal ini dilakukan supaya kondisi dalam *machine vision* dapat terisolasi dari lingkungan luar sehingga diharapkan tidak terdapat faktor lain dari luar yang mengganggu proses di dalam *machine vision*. Ketiga, pengaturan standar *machine vision* harus mengikuti standar operasional *machine vision* (Lihat table 1) yang telah didapatkan melalui penelitian. Keempat, jalankan software MPLS. Ketika software dijalankan maka semua proses dapat berjalan secara otomatis hingga semua LED matriks dapat menyala.

Syarat Operasional *Machine Vision*

Penggunaan *machine vision* yang telah dikembangkan memiliki beberapa syarat operasional yang perlu dipenuhi supaya semua fungsi pada *machine vision* dapat beroperasi secara maksimal. Berikut ini adalah syarat operasional *machine vision*.

Tabel 1. Syarat operasional *machine vision*

No	Peralatan yang diatur	Kondisi
1	Kamera	Webcam Logitech C170
2	Holder Lampu	X axis = 0 cm Y axis = 0 cm Z axis = 0° Lampu 1 = On Lampu 2 = On Lampu 3 = On Lampu 4 = On
3	Holder Kamera	X axis = 7.3 cm Y axis = 6 cm

Penentuan syarat operasional pada *holder* lampu ditentukan berdasarkan jumlah bayangan terkecil yang memenuhi standar minimal yang telah ditetapkan (41 piksel). Jumlah bayangan ini didapatkan dengan cara mensegmentasi *background* dan tanaman selada dari citra tanaman selada sehingga hanya bayangan tanaman saja yang tersisa. Proses segmentasi dilakukan dengan cara manual dengan menggunakan Adobe Photoshop 6.0. Sedangkan penghitungan jumlah piksel bayangan dilakukan dengan menggunakan software penghitung bayangan yang telah dikembangkan peneliti dengan menggunakan Visual Basic 6.0.

Penentuan syarat operasional *holder* kamera ditentukan berdasarkan pengamatan secara visual oleh peneliti terhadap citra yang didapatkan oleh kamera ketika *holder* kamera diatur pada posisi-posisi yang berbeda. Pengaturan yang sesuai ditentukan berdasarkan ukuran citra yang didapat seluas luasan garis tepi di tempat budidaya tanaman. Penentuan syarat operasional *holder* kamera penting dilakukan supaya ketika software MPLS mengolah citra maka LED yang menyala berdasarkan data penyalan LED, dapat menyala tepat di atas tanaman.

Performansi *Machine Vision*

Performansi *machine vision* merupakan indikator keberhasilan LED *controller* dalam menyalakan LED matriks sesuai dengan data penyalan LED dari software MPLS. Penentuan koefisien determinasi dilakukan dengan *plotting* semua data pembacaan luxmeter yang telah dikonversi ke level intensitas LED.

Tabel 2. Koefisien determinasi pada penggunaan 3 jenis umur tanaman

Umur Selada	R ²
2 minggu	1
3 minggu	0.892
4 minggu	0.979

Pada umur selada 2 minggu *machine vision* mampu menyalakan LED matriks dengan tingkat kebenaran sebesar 100% sesuai dengan data penyalan LED yang dikirimkan dari software MPLS. Namun pada umur 3 minggu dan 4 minggu terdapat penurunan tingkat kebenaran sebesar 89.2 % dan 97.9 % dalam menyalakan LED matriks sesuai dengan data penyalan LED yang dikirimkan software MPLS. Penurunan ini diduga peneliti terdapat kesalahan dalam LED *controller* dalam menyalakan LED.

Konsumsi Energi Listrik dan Peresentasi Penghematan Energi Listrik

Pengujian ini dilakukan dengan cara menghitung semua LED matriks yang menyala di *machine vision* lalu kemudian menghitung total daya (watt) sesuai dengan spesifikasi LED yang digunakan. Setelah itu dikalikan dengan umur tanaman. Pengujian ini dilakukan dengan membandingkan total konsumsi energi listrik yang menggunakan sistem pencahayaan konvensional dengan sistem pencahayaan mikro presisi. Hasil pengujian ditunjukkan pada table 3.

Tabel 3. Konsumsi dan persentase penghematan energi listrik

Umur Selada	Konsumsi Energi menggunakan CLS (Wh)	Konsumsi Energi menggunakan MPLS (Wh)	Persentase penghematan energi listrik (%)
2 minggu	41287.68	6491.52	84.28
3 minggu	61931.52	21893.76	64.65
4 minggu	82575.36	33626.88	59.28

Hasil pengujian menunjukkan sistem pencahayaan mikro presisi yang telah dikembangkan memiliki performansi yang baik. Hal ini dapat dilihat dari table 3 yang menunjukkan konsumsi energi listrik yang menggunakan sistem pencahayaan mikro presisi (MPLS) selalu lebih kecil dibandingkan dengan sistem pencahayaan konvensional (CLS). Penghematan ini dapat terjadi karena sistem pencahayaan mikro presisi tidak menyalakan LED matriks seluas tempat budidaya tanaman seperti yang dilakukan sistem pencahayaan konvensional melainkan menyalakan LED matriks seluas luasan tanaman yang dibudidayakan. Pada persentase penghematan energi listrik terdapat *trend* penurunan persentase pada umur tanaman yang semakin besar. Hal ini disebabkan ketika tanaman selada berumur semakin tua maka luasan tanaman akan semakin besar sehingga luasan nyala LED matriks akan semakin besar pula. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem pencahayaan dalam *plant factory* yang telah dikembangkan sudah sesuai dengan tujuan awal.

KESIMPULAN

Machine vision yang telah dikembangkan untuk mengontrol LED matriks di *plant factory* memiliki syarat operasional yang harus dipenuhi yaitu, pertama, kamera yang digunakan adalah Webcam Logitech C170. Kedua, pengaturan *holder* lampu yang harus dilakukan yaitu sumbu X diatur pada 0 cm, sumbu Y diatur pada 0 cm, dan sumbu Z diatur pada 0° dan semua lampu dinyalakan. Ketiga, pengaturan *holder* kamera yang harus dilakukan yaitu sumbu X diatur pada 7.3 cm dan sumbu Y diatur pada 6 cm. Syarat operasional ini penting untuk dilakukan supaya *machine vision* dapat bekerja secara optimal.

Performansi *machine vision* dalam menyalakan LED matriks sesuai data penyalakan LED dari software MPLS memiliki rata-rata koefisien determinasi sebesar 0.9552. Adapun total konsumsi energi listrik yang didapatkan ketika menggunakan sistem pencahayaan mikro presisi pada 3 jenis umur tanaman yaitu 6491.52 Wh (2 minggu), 61931.52 Wh (3 minggu), 33626.88 Wh (4 minggu) dengan persentase penghematan energi listrik yang didapatkan sebesar 84.28% (2 minggu), 64.65% (3 minggu), 59.28% (4 minggu).

DAFTAR PUSTAKA

- Demig-Adams, B. & Adams III, W. W. 1996. The role of Xanthophylls cycle carotenoids in the protection of photosynthesis. *Trends in Plant Science*, 1, pp 21-27.
- Fukshansky, L. A., Remisowsky, A. M., McClendon, J., Ritterbusch, A., Richter, T., & Mohr, H. 1993. Absorption spectra of leaves corrected for scattering and distributional error: a radiative transfer and absorption statistics treatment. *Photochemistry and Photobiology*, 57, pp 538-555.

- Gitelson, A. A., & Merzlyak, M. N., 1999. Spectral reflectance changes associate with autumn senescence of *Aesculus hippocastanum* L. and *Acer platanoides* L. leaves. Spectral features and relation to chlorophyll estimation. *Journal of Plant Physiology*, 143, pp 286-292.
- Merzlyak, M. N., Gitelson, A. A., Chivkunova, O. B., & Rakitin, V. Y. 1999. Non destructive optical detection of pigment changes during leaf senescence and fruit ripening. *Physiologia Plantarum*, 106, pp 135-141.
- Shimizu, H., Saito, Y., Nakashima, H., Miyasaka, J., Ohdoi, K., 2011. Light environment optimization for lettuce growth in plant factory. 18th IFAC World Congress.