

## **Kajian pencahayaan tanaman dengan penggunaan pemantul cahaya lampu *Light Emitting Diode* (LED) di dalam kilang tanaman**

(Plant lighting study with the use of Light Emitting Diode (LED) light reflector in the plant factory)

Khairul Anuar Shafie, Mohammad Abid Ahmad, Muhamad Syahiran Afieff Azman, Muhammad Shukri Hassan, Mohamad Saiful Nizam Azmi dan Mohd Daniel Hazeq Abdul Rashid

### **Pengenalan**

Struktur persekitaran terkawal, seperti rumah hijau dan kilang tanaman telah merevolusikan pertanian dengan membenarkan kawalan tepat ke atas faktor persekitaran. Salah satu komponen utama yang perlu dipertimbangkan dalam aplikasi sistem ini adalah pencahayaan ke atas tanaman. Artikel ini meneroka sumber pencahayaan buatan dan cara penggunaannya dalam struktur persekitaran terkawal untuk mengoptimumkan pertumbuhan tanaman, meningkatkan hasil dan memanjangkan musim tanaman. Memandangkan permintaan untuk kaedah pertanian secara mampan meningkat, pengoptimuman kecekapan penggunaan tenaga telah menjadi keutamaan dalam industri hortikultur sebagai alternatif kepada sistem pencahayaan tradisional seperti lampu pendarfluor yang menggunakan tenaga yang tinggi. Penggunaan lampu LED dapat meningkatkan kecekapan penggunaan tenaga kepada yang lebih tinggi dengan komponen-komponen berkuasa rendah. Dengan tambahan komponen pemantul cahaya (reflektor), liputan pencahayaan lampu *light emitting diode* (LED) ke atas tanaman dapat diperluaskan dan mengurangkan bilangan unit lampu LED bagi setiap meter persegi atau di tingkat rak tanaman.

### **Pencahayaan lampu LED hortikultur**

Tanaman di dalam struktur persekitaran terkawal memerlukan pencahayaan tiruan bagi memenuhi keperluan tanaman. Cahaya adalah faktor asas yang mempengaruhi pertumbuhan, perkembangan dan produktiviti tumbuhan melalui proses fotosintesis yang menyediakan tenaga yang diperlukan untuk penukaran karbon dioksida dan air kepada glukosa dan oksigen. Jarak gelombang cahaya yang berbeza mempengaruhi pelbagai aspek fisiologi tumbuhan seperti berbunga, berbuah dan morfologi. Dengan memanipulasi pencahayaan, pertumbuhan tanaman boleh diatur untuk memenuhi keperluan tertentu. Teknologi pencahayaan LED telah menjadi terkenal dalam industri hortikultur kerana banyak kelebihannya berbanding dengan sumber pencahayaan tradisional seperti lampu pendarfluor atau lampu natrium bertekanan tinggi. Pencahayaan LED adalah cekap tenaga, menggunakan kurang kuasa dan mempunyai jangka hayat

yang lebih lama. Selain itu, ia memancarkan jarak gelombang cahaya tertentu yang boleh disesuaikan untuk memadamkan julat spektrum optimum untuk pertumbuhan tanaman dan memastikan kecekapan fotosintesis mencapai maksimum. Keupayaan dalam memanipulasi spektrum cahaya, menjadikan pencahayaan LED sangat mudah disesuaikan untuk pelbagai aplikasi hortikultur. *Jadual 1* menunjukkan lampu LED yang telah dibangunkan oleh MARDI untuk tujuan kajian ini. Lampu yang diuji ialah lampu spektrum merah-biru (RB) yang digunakan untuk tanaman sayur-sayuran berdaun.

Jadual 1. Lampu hortikultur LED MARDI

Jenis-jenis	Lampu LED hortikultur			
No. model	IEA-GL04036-OSC1802-A01	IEA-GL04036-OSC1802-A02	IEA-GL04036-OSC1802-A03	IEA-GL04036-OSC1802-A04
Jenis	Sayur-syuran	Buah-buahan	Bunga	Herba
Spektrum	Merah dan biru	Far red, merah dan biru	Merah dan biru	Hijau, merah dan biru
Purata PPF (30 cm tinggi)	78 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$	63 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$	76 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$	65 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$
Kuasa	33 W	33 W	33 W	33 W
Voltan	100 – 240 V	100 – 240 V	100 – 240 V	100 – 240 V
<i>Dimmable</i>	Tiada	Tiada	Tiada	Tiada
Berat	350 g	350 g	350 g	350 g
Sumber LED	OSRAM	OSRAM	OSRAM	OSRAM
<i>Ingress protection</i>	IP20	IP20	IP20	IP20
Dimensi (L x D)	1,200 mm x 26 mm	1,200 mm x 26 mm	1,200 mm x 26 mm	1,200 mm x 26 mm
Jaminan	3 tahun	3 tahun	3 tahun	3 tahun

### **Penggunaan pemantul cahaya/reflektor dalam pengoptimuman pencahayaan LED**

Pemantul cahaya atau reflektor LED memainkan peranan penting dalam sistem pencahayaan tanaman hidroponik dengan mengubah arah dan mengoptimumkan serakan cahaya dalam persekitaran rumah tanaman. Reflektor ini direka untuk mengubah arah cahaya yang dipancarkan oleh lampu LED bagi memastikan jumlah cahaya maksimum mencapai tanaman. Dengan meminimumkan kehilangan cahaya dan meningkatkan keseragaman, penggunaan reflektor dapat meningkatkan kecekapan keseluruhan sistem pencahayaan dan menjadikannya lebih kos efektif dan mampan.

Reflektor cahaya LED juga membantu serakan cahaya dengan lebih sekata merentasi kanopi tanaman dan meminimumkan titik panas di kawasan tanaman. Serakan cahaya yang seragam dapat memastikan setiap tanaman menerima cahaya yang mencukupi untuk proses fotosintesis dan menghasilkan pertumbuhan yang lebih baik, seragam serta meningkatkan hasil.

Dengan mengalihkan cahaya ke arah tanaman, penggunaan reflektor boleh mengurangkan jumlah cahaya dan tenaga yang terbuang. Kecekapan yang dipertingkatkan ini diterjemahkan kepada penggunaan tenaga, kos operasi dan jejak karbon yang rendah.

Reflektor juga menawarkan kelebihan iaitu membolehkan pelarasan keamatan cahaya dijalankan dan mengoptimumkan serakan cahaya berdasarkan keperluan khusus spesies tanaman atau peringkat pertumbuhan yang berbeza. Tahap kawalan ini membolehkan ahli hortikultur mencipta persekitaran pencahayaan yang sesuai bagi menyokong pertumbuhan dan perkembangan tanaman yang optimum. Bagi pengawalan keamatan cahaya kepada tanaman, sistem pemantauan dan kawalan pencahayaan boleh diaplikasi dalam sistem penanaman hidroponik rak bertingkat ini.

Terdapat pelbagai jenis reflektor yang boleh digunakan untuk pencahayaan lampu LED. Antara reflektor yang selalu digunakan adalah daripada aluminium, polikarbonat (PC), plastik dan plat keluli dengan catan putih. *Jadual 2* menunjukkan ciri-ciri reflektor.

*Gambar 1* menunjukkan contoh reflektor yang berada di pasaran iaitu reflektor jenis plat keluli dengan catan putih dan reflektor jenis plat aluminium. Reflektor ini digunakan dalam penilaian pencahayaan untuk pertumbuhan tanaman dan dibandingkan dengan lampu LED tanpa reflektor.

Jadual 2. Ciri-ciri reflektor

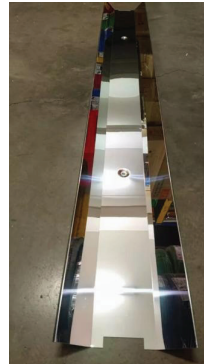
Reflector material	Total reflectivity (DIN 5036-3)	Light -directing/-diffusion	Thermal conductivity W/mK	Thermal capacity kJ/(kg.K)	el. magnetic shielding	Fire behavior <sup>2</sup>
Aluminium (raw, anodized)	80 – 90	Diffused-directed	236	0.9	Yes	A1
Aluminium (RE) enhanced reflectivity	95 – 98	Diffused-directed	236	0.9	Yes	A1
Stainless steel	50 – 60	Matte-directed	15 – 80	0.46	Yes	A1
Steel – painted white	80 – 90	Diffused	15 – 80	0.46	Yes	A1
Silver (polished)	95	Directed	429	0.23	Ja	A1
Silvered glass mirror	95	Directed	0.19	1.47	Yes	A1
Glass 1)	92		0.19	1.47	No	A1
Acrylic glass 1	86	Transparent opaque-diffused	0.2	1.25	No	B2
Polycarbonate (PC) 1)	80 – 90		0.14	1.2	No	B2
Paper (white)	80 – 85	Diffused	0.18	1.2	No	B3
Textiles 1)	50 – 80	Diffused	0.04	1.7	No	B2 – B3

1) Transparent material = Transmission coefficient

2) Building material classes DIN 4102 - 1



(a) Reflektor daripada plat keluli



(b) Reflektor daripada plat aluminium

Gambar 1. Jenis reflektor lampu LED

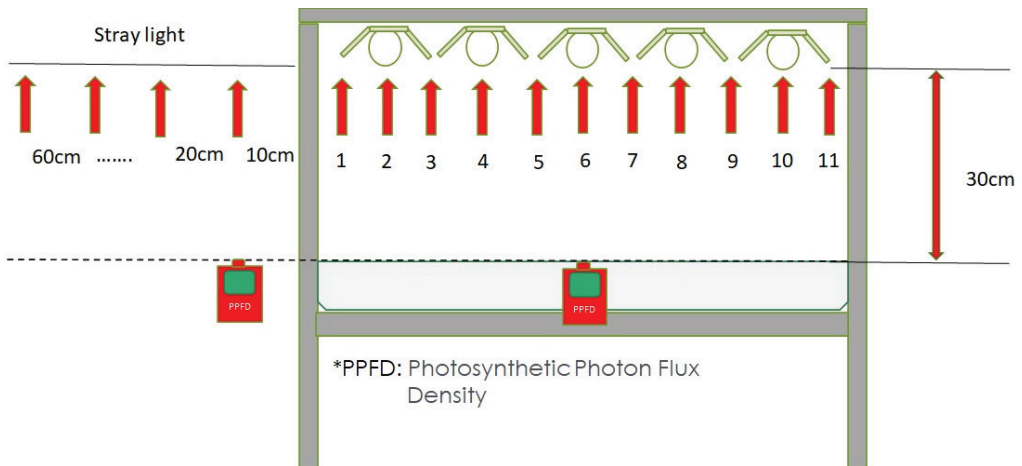
### Kaedah pengukuran pencahayaan tanaman di rak tanaman bertingkat

PPFD adalah singkatan kepada *Photosynthetic Photon Flux Density* yang merupakan ukuran jumlah sinaran aktif fotosintesis (PAR) yang mencapai kawasan permukaan tertentu dalam unit masa. Dalam pencahayaan hortikultur, PPFD adalah pengukuran penting yang digunakan untuk menilai keamatan dan kualiti cahaya yang diterima oleh tanaman.

PPFD diukur dalam unit mikromol per meter persegi sesaat ( $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ). Ia mengukur bilangan foton dalam julat PAR (panjang gelombang antara 400 hingga 700 nanometer) yang mencapai kawasan tertentu sesaat. PPFD memberikan petunjuk tentang jumlah cahaya yang tersedia untuk fotosintesis iaitu proses tumbuhan menukar tenaga cahaya kepada tenaga kimia untuk memacu pertumbuhan dan pembesaran.

Bagi pengukuran cahaya di bawah rak tanaman, alat pengukur spektrometer LI-180 (Li-Cor Environmental, USA) digunakan. LI-180 mengukur jarak gelombang antara 380 – 780 nm, *spectral bandwidth* sebanyak 12 nm (*half bandwidth*) dan julat pengukuran antara 1 – 3,800  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ . Bagi uji kaji ini, pengukuran PPFD dilakukan ke atas rak tanpa tanaman dan pengukuran cahaya PPFD dilakukan tanpa tanaman di dalam rak. Pengukuran PPFD dilakukan di 11 titik pengukuran dengan jarak 30 cm di antara spektrometer dan lampu LED dan reflektor seperti dalam *Gambar rajah 1*. Pengukuran diambil di bawah lampu LED dan di antara lampu LED dengan reflektor. Bagi pengukuran *stray light* atau cahaya sisihan iaitu cahaya di luar rak, bacaan cahaya pertumbuhan tanaman diambil dalam jarak setiap 10 cm sehingga 60 cm dengan senggga bacaan sebanyak 10 cm.

*Gambar 2* menunjukkan rak tanaman bertingkat yang digunakan untuk mengukur cahaya pertumbuhan tanaman. Rak tanaman ini mempunyai tujuh tingkat dan setiap tingkat mempunyai 10 tiub lampu LED dan dipasang dengan reflektor daripada bahan yang berbeza. Reflektor daripada aluminium dipasang di tingkat 1, reflektor jenis keluli dengan catan putih di



Gambar rajah 1. Reka bentuk pengukuran cahaya pertumbuhan tanaman di rak tanaman bertingkat

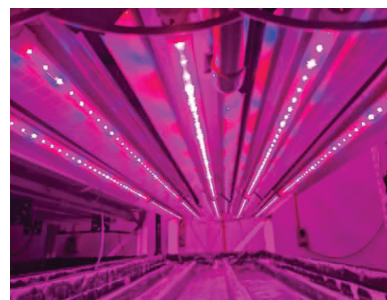
tingkat dua dan tiada reflektor dipasang di rak tingkat tiga yang dijadikan sebagai kawalan untuk perbandingan antara pelbagai jenis reflektor. Gambar 3 menunjukkan lampu LED dipasang dengan reflektor dan Gambar 4 lampu LED tanpa reflektor.

### Analisis data bagi reflektor LED spektrum merah-biru

Sebanyak 11 titik pengukuran telah direkodkan bagi setiap jenis reflektor di tiga lokasi iaitu di bahagian hadapan rak, tengah rak dan belakang rak. Bacaan purata bagi 11 titik pengukuran ini telah diperolehi dan diplot dalam graf garisan seperti dalam Gambar 5. Bacaan purata PPFD terendah direkodkan pada titik pengukuran 1 iaitu di bahagian tepi rak dengan bacaan purata PPFD sebanyak  $133 - 154 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  (aluminium, plat keluli bercat putih dan kawalan). Bacaan purata PPFD tertinggi direkodkan pada titik pengukuran lima iaitu di antara dua lampu LED iaitu sebanyak  $367.3 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  (catan putih besi). Nilai PPFD ini mencukupi bagi tanaman jenis sayur-sayuran berdaun iaitu salad yang memerlukan bacaan PPFD sehingga  $250 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ . Berdasarkan kepada perbandingan antara jenis reflektor pula, didapati plat keluli dengan catan putih memberikan bacaan PPFD yang tinggi berbanding dengan reflektor daripada aluminium dengan perbezaan bacaan PPFDmin. 6.23 dan PPFDmak  $86.3 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ .



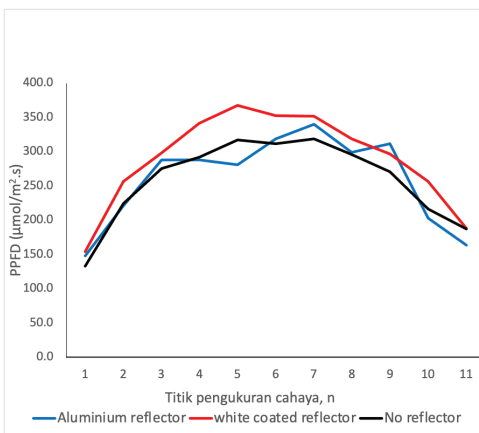
Gambar 2. Rak tanaman bertingkat



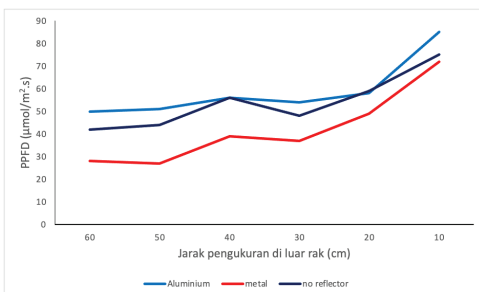
Gambar 3. Lampu LED dengan reflektor



Gambar 4. Lampu LED tanpa reflektor



Gambar 5. Pengukuran pencahayaan pertumbuhan tanaman, PPFD di bawah lampu LED RB di rak tanaman hidroponik



Gambar 6. Pengukuran cahaya tersisih lampu LED di luar rak dan cahaya pertumbuhan tanaman di dalam rak tanaman

### Analisis data bagi stray light lampu LED merah-biru

Pengukuran cahaya di luar rak telah dilakukan bagi menentukan *stray light* atau cahaya sisihan yang dihasilkan oleh lampu LED hortikultur. Pengukuran cahaya ini dapat menentukan sama ada ia memberi kesan kepada pertumbuhan tanaman di rak bersebelahan. Sebanyak enam titik pengukuran tambahan dilakukan bagi pengukuran cahaya di luar rak dengan sela titik pengukuran sebanyak 10 cm. Berdasarkan pengukuran di luar rak, didapati bacaan purata PPFD boleh mencapai sehingga 40  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ . Berdasarkan keperluan cahaya pertumbuhan tanaman, PPFD minimum yang diperlukan adalah sebanyak 100  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  untuk sayur-sayuran berdaun. Oleh yang demikian, cahaya pantulan yang dihasilkan oleh lampu LED tidak mencukupi untuk mempengaruhi pertumbuhan tanaman di rak bersebelahan.

### Kesimpulan

Pengujian reflektor telah dilakukan ke atas lampu LED spektrum merah-biru bagi mengoptimumkan pencahayaan ke atas tanaman sayur-sayuran berdaun. Lampu LED spektrum merah-biru yang digunakan mempunyai purata PPFD 78  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ . Dua jenis reflektor digunakan iaitu plat aluminium dan plat keluli catan putih. Hasil uji kaji menunjukkan plat keluli dengan catan putih meningkatkan pencahayaan lampu LED dengan purata sebanyak 1.1 kali ganda berbanding dengan lampu LED tanpa reflektor dengan nilai PPFD maksimum sebanyak 367.3  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ . Reflektor daripada plat aluminium juga turut meningkatkan pencahayaan lampu LED dengan purata sebanyak satu kali

ganda berbanding dengan lampu LED tanpa reflektor, tetapi kurang sebanyak 10% apabila dibandingkan dengan reflektor plat keluli dengan catan putih.

Bagi pencahayaan lampu LED di luar rak tanaman, bacaan PPF yang direkodkan adalah antara 40  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  ke 70  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  dengan jarak 60 cm maksimum dari tepi rak. Cahaya LED di luar rak ini tidak mempengaruhi pertumbuhan tanaman di rak bersebelahan kerana pencahayaan minimum yang diperlukan oleh tanaman ialah dalam 100  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ .

### **Penghargaan**

Penulis ingin mengucapkan setinggi penghargaan kepada MARDI untuk bagi Projek Pembangunan RMK-12 yang bertajuk “Pembangunan Sistem Pengeluaran Tanaman Berinovasi untuk Jaminan Makanan, Kelestarian dan Kesejahteraan Masyarakat”. Penulis juga ingin mengucapkan ribuan terima kasih kepada kolaborator dan ahli projek dari Pusat Penyelidikan Kejuruteraan dan Pusat Penyelidikan Hortikultur dalam menyediakan sokongan, peralatan dan sumbangan tenaga dalam melaksanakan aktiviti projek. Tidak lupa juga ucapan terima kasih kepada Pengarah Pusat Penyelidikan Kejuruteraan atas sokongan dalam melaksanakan projek ini.

### **Bibliografi**

- Ouzounis, T., Rosenqvist, E., & Ottosen, C. O. (2015). Spectral effects of artificial light on plant physiology and secondary metabolism: A review, *HortScience: a publication of the American Society for Horticultural Science*, 50, 1128–1135. doi: 10.21273/HORTSCI.50.8.1128.
- Yahia, E. M. *et al.* (2019). Photosynthesis. *Postharvest Physiology and Biochemistry of Fruits and Vegetables*. Woodhead Publishing, m.s. 47–72. doi: 10.1016/B978-0-12-813278-4.00003-8.
- Yang, J., Song, J., & Jeong, B. R. (2022). Lighting from top and side enhances photosynthesis and plant performance by improving light usage efficiency, *International Journal of Molecular Sciences*, 23(5). doi: 10.3390/ijms23052448.
- Zou, T. *et al.* (2020). Optimization of artificial light for spinach growth in plant factory based on orthogonal test, *Plants*, 9(4). doi: 10.3390/plants9040490.

### **Ringkasan**

Sistem tanaman hidroponik di dalam struktur persekitaran terkawal memerlukan bantuan pencahayaan kerana tiada sumber cahaya bagi pertumbuhan tanaman terutama di dalam kilang tanaman. Lampu LED hortikultur yang telah dihasilkan formulasi spektrum pencahayaan oleh MARDI digunakan dalam sistem tanaman hidroponik dan berjaya memberikan keputusan yang baik dari segi peningkatan hasil tanaman sayur-sayuran berdaun dan memendekkan tempoh tuaian hasil berbanding dengan sistem tanaman terbuka. Walau bagaimanapun, kos lampu LED yang tinggi menyebabkan kos operasi meningkat sepanjang tempoh penanaman. Kajian penggunaan reflektor dalam sistem pencahayaan tanaman dilakukan bagi mendapatkan kadar pencahayaan yang optimum dengan pengurangan bilangan lampu LED sebanyak 20% bagi setiap rak tanaman.

Dua jenis reflektor telah diuji dengan lampu spektrum merah-biru iaitu plat aluminium dan plat keluli dengan salutan warna putih. Lampu LED tanpa reflektor telah dijadikan sebagai kawalan bagi perbandingan di atas. Data PPFd telah diukur bagi ketiga-tiga keadaan lampu LED dan reflektor plat keluli dengan cat putih meningkatkan bacaan PPFd berbanding dengan plat aluminium dan tanpa reflektor. Hasil pengujian data pencahayaan di luar rak menunjukkan cahaya tersisih tersebut tidak mempengaruhi tanaman di rak bersebelahan kerana nilai PPFd yang rendah iaitu di bawah 100  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ .

### **Summary**

Hydroponic plant systems in a controlled environment structure require lighting support because there is no light source for plant growth, especially in a plant factory. Horticultural LED lights spectrum that have been produced by MARDI's are used in the hydroponic plant system and successfully provide good results in terms of increasing the yield of leafy vegetables and shortening the harvest period compared to open field plantation. However, the high cost of LED lights causes operating costs to increase throughout the growing period. The study of the use of reflectors in the plant lighting system was carried out to obtain the optimal lighting rate by reducing the number of LED lights for 20% for each rack. Two types of reflector materials were tested with red-blue spectrum lights, namely aluminum and steel with a white coating. LED lamps without reflectors have been used as a control for the comparison above. PPFd data has been measured for all three conditions of LED lamps and steel material reflectors with white paint increase PPFd readings compared to aluminum materials and without reflectors. The results of testing the lighting data outside the shelf show that the stray light does not affect the plants on the adjacent shelf due to the low PPFd value which is below 100  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ .

### **Pengarang**

Khairul Anuar Shafie  
Pusat Penyelidikan Kejuruteraan, Ibu Pejabat MARDI  
Persiaran MARDI-UPM, 43400 Serdang Selangor  
E-mel: khanuar@mardi.gov.my

Mohammad Abid Ahmad  
Pusat Penyelidikan Hortikultur, Ibu Pejabat MARDI  
Persiaran MARDI-UPM, 43400 Serdang Selangor

Muhamad Syahiran Afieff Azman, Muhammad Shukri Hassan, Mohamad Saiful  
Nizam Azmi dan Mohd Daniel Hazeq Abdul Rashid  
Pusat Penyelidikan Kejuruteraan, Ibu Pejabat MARDI  
Persiaran MARDI-UPM, 43400 Serdang Selangor