

## Sistem penyejukan evaporatif dalam pengangkutan sayuran

(Evaporative cooling system in vegetable transportation)

Masniza Sairi, Mohd Shukry Hassan Basri, Nur Syafini Ghazali, Joanna Cho Lee Ying, Rahayu Anang, Arina Mohd Noh, Yahya Sahari, Mohd Fazly Mail, Mohd Shahrir Azizan, Sharifah Hafiza Mohd Ramli, Mohd Zaffrie Mat Amin, Azman Hamzah, Azhar Mat Noor, Mohamad Abhar Akmal Hamid, Nur Izzati Muhsin, Mohd Hafiz Mohd Amin Tawakkal, Amir Redzuan Shamsulkamal, Shafie Alwi, Mohd Zaimi Zainol Abidin, Muhammad Aliq Jamaluddin, Mohd Daniel Hazeq Abdul Rashid dan Mohd Azmirredzuan Sani

### Pengenalan

Suhu (T) dan kelembapan relatif (RH) adalah antara faktor kritikal yang mempengaruhi kualiti dan jangka hayat produk hortikultur di sepanjang rantai makanan antara aktiviti peneuaian dan penggunaan. Keperluan kondisi asas semasa pengangkutan produk adalah sama seperti penyimpanan iaitu kawalan suhu, kelembapan relatif dan pengudaraan dengan julat tertentu bergantung kepada jenis produk. Penyimpanan pada suhu selamat terendah (5 – 10 °C) berupaya memanjangkan jangka hayat produk dengan menurunkan kadar pernafasan, mengurangkan kadar kehilangan air dan meminimumkan sensitiviti etilena. Manakala, peningkatan kelembapan relatif persekitaran akan mengurangkan kadar kehilangan air dan aktiviti metabolik produk dan berupaya mengekalkan kualiti produk semasa tempoh penyimpanan. Kualiti produk hortikultur ditentukan oleh warna, tekstur serta kesegaran dan ia juga memainkan peranan penting bagi penetapan harga jualan.

Kehilangan lepas tuai boleh berlaku semasa proses penyimpanan, pemprosesan, pengedaran/pengangkutan dan pemasaran produk dari ladang atau premis pembungkusan (*packing house*) ke lokasi pemasaran. *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO) melaporkan bahawa buah-buahan dan sayur-sayuran mengalami nilai kehilangan tertinggi berbanding dengan komoditi makanan lain semasa proses pengedaran/pengangkutan dan peruncitan. Penurunan kualiti produk serta kehilangan lepas tuai semasa proses pengedaran/pengangkutan boleh berlaku akibat amalan pengendalian yang kasar dan tidak sesuai, kemudahan logistik yang kurang baik, parameter penyimpanan tidak sesuai, kekurangan pengetahuan mengenai pengendalian lepas tuai, jangka hayat simpanan terhad dan lain-lain.

Di Malaysia, pengangkutan darat untuk produk hortikultur secara lazimnya adalah menggunakan trak sejuk (*cold truck*) atau trak kanvas. Trak sejuk yang menggunakan sistem penyejukan mekanikal (*mechanical refrigeration*) mampu menyediakan persekitaran unit penyimpanan dengan suhu yang rendah, namun

memerlukan bekalan tenaga intensif serta pelaburan modal awal yang tinggi untuk proses pemasangan dan penyelenggaraan berkala. Trak kanvas yang tidak menggunakan sebarang sistem penyejukan sering menjadi pilihan pengangkutan kerana kosnya yang lebih rendah, namun kualiti produk dan kehilangan lepas tuai dikompromi. Kelemahan sistem pengangkutan ini menyebabkan pengurangan pendapatan kepada petani/usahawan akibat kerosakan ke atas produk semasa aktiviti logistik.

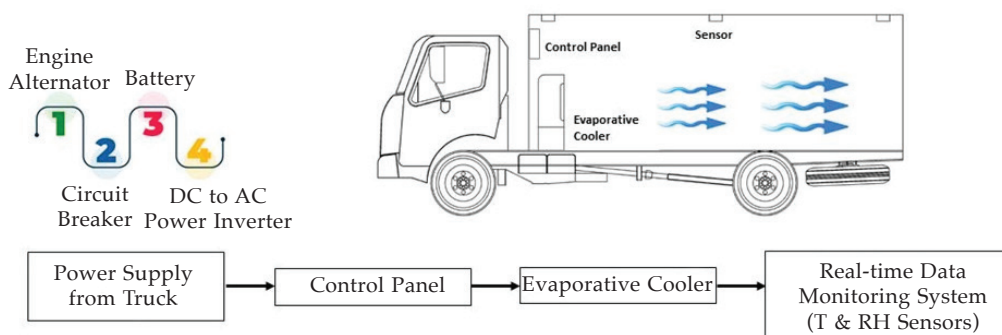
Selain penyejukan secara mekanikal, sistem penyejukan evaporatif (*evaporative cooling system*) berupaya menurunkan suhu menggunakan prinsip penyejukan air untuk mencapai julat suhu yang disasarkan di samping meningkatkan kelembapan relatif persekitaran. Sistem ini mesra alam sekitar di mana tiada penggunaan bahan penyejuk kimia atau pengeluaran gas berbahaya ke atmosfera semasa beroperasi. Sistem ini juga hanya menggunakan  $\frac{1}{4}$  tenaga berbanding dengan sistem penyejukan mekanikal. Selain itu, kos permulaan dan kos operasi penggunaan penyejukan evaporatif masing-masing hanya  $\frac{1}{2}$  dan  $\frac{1}{3}$ , berbanding dengan kos sistem penyejukan mekanikal. Justeru, kelebihan-kelebihan ini menjadikan sistem penyejukan evaporatif sebagai alternatif kepada trak sejuk dan trak kanvas yang diperlukan oleh industri kerana mampu mengekalkan kualiti produk hortikultur semasa pengangkutan pada kos efektif.

Kajian lapangan dan literatur yang dijalankan menunjukkan bahawa sistem penyejukan evaporatif masih belum diaplikasi untuk penyimpanan jangka masa pendek bagi sistem pengangkutan sayuran di Malaysia. Kajian literatur hanya merekodkan aplikasi sistem ini untuk penyimpanan jangka masa panjang produk hortikultur (sayuran dan buahan) secara statik.

### **Reka bentuk dan pembangunan sistem**

Sistem penyejukan evaporatif di dalam trak untuk penyimpanan jangka masa pendek sayuran semasa pengangkutan telah direka bentuk dan dibangunkan oleh Pusat Penyelidikan Kejuruteraan, MARDI (*Gambar rajah 1*). Sistem ini terdiri daripada penyejuk evaporatif, sistem bekalan kuasa (bateri, penyongsang kuasa dan sistem pendawaian), unit penyimpanan dan sistem pemantauan data masa nyata (*Gambar 1*). Penyejuk evaporatif berfungsi berasaskan prinsip penyejukan langsung, di mana udara dibenarkan mengalir melalui pad penyejukan. Ini membolehkan penyejukan/evaporasi, seterusnya penyejukan ruang persekitaran kerana kelembapan ditambah kepada udara. Dalam mod ini, suhu menurun sementara kelembapan relatif meningkat. Komponen utama penyejuk evaporatif ialah tangki air, pad penyejukan, motor, pam, kipas, sistem perpaipan dan panel kawalan. Kadar aliran udara, penggunaan kuasa dan luas penyejukan efektif masing-masing ialah  $10,000 \text{ m}^3/\text{hr}$ , 360 watt dan  $46 \text{ m}^2$ . Saiz unit penyimpanan ialah  $3.05 \text{ m} \times 1.83 \text{ m} \times 1.52 \text{ m}$  (panjang x lebar x tinggi). Sistem ini turut dilengkapi dengan sistem pemantauan data bagi menentukan bacaan suhu dan kelembapan

relatif persekitaran secara masa nyata (*real time*) pada ruang penyimpanan. Sistem pemantauan ini terdiri daripada penderia suhu (0 – 80 °C), penderia kelembapan relatif (0 – 100%), *gateway*, pelayan, perisian dan papan pemuka. Data-data diambil, dihantar dan diproses menggunakan/melalui sistem *Internet of Thing* (IoT).



Gambar rajah 1. Komponen sistem penyejukan evaporatif di dalam trak

### Optimasi dan modifikasi sistem

Kajian simulasi *computational fluid dynamic* (CFD) di dalam unit penyimpanan dengan sistem penyejuk evaporatif telah dilaksanakan menggunakan perisian ANSYS Fluent V14 (ANSYS Inc., United States) untuk penentuan taburan suhu dan aliran udara yang optimum. Keputusan kajian simulasi digunakan untuk modifikasi sistem penyejukan dengan penambahan komponen saluran masukan (*inlet*) dan keluaran (*outlet*) udara, serta penetapan bilangan dan lokasi saluran yang sesuai pada unit penyimpanan. Lima konfigurasi penempatan *inlet* dan *outlet* telah dikaji. Keputusan menunjukkan bahawa konfigurasi dengan satu unit *inlet* yang diletakkan di bahagian hadapan (bawah; kiri) dan dua unit *outlet* di bahagian atas (tengah; hadapan dan belakang) unit penyimpanan memberikan taburan suhu dan aliran udara yang paling optimum (Jadual 1). Konfigurasi optimum ini seterusnya diaplikasi dalam modifikasi sistem penyejukan evaporatif.

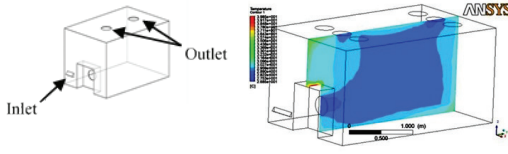
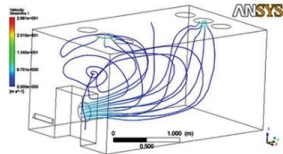


Gambar 1. Sistem penyejukan evaporatif di dalam unit penyimpanan trak dilengkapi sistem pemantauan data masa nyata

### Kebolehfungsian sistem

Keupayaan sistem yang dibangunkan untuk berfungsi menggunakan kuasa bateri trak diuji. Prototaip [arus ulang alik, AC (200 – 240 V)] menunjukkan prestasi kebolehfungsian yang baik di mana ia mampu dikuasakan oleh bateri trak [arus terus, DC (24 V)] menggunakan penyongsang kuasa.

Jadual 1. Kajian simulasi *computational fluid dynamic* (CFD) taburan suhu dan aliran udara di dalam unit penyimpanan – Konfigurasi optimum untuk komponen udara masukan dan keluaran

Konfigurasi	Taburan suhu	Taburan aliran udara
1 inlet di hadapan (bawah; kiri) + 2 outlet di atas (tengah; hadapan dan belakang)		

### Prestasi sistem

Kajian prestasi merangkumi penilaian profil penyejukan unit penyimpanan (suhu dan kelembapan relatif) dan penilaian kualiti sayuran berdaun untuk pasaran segar (sifat fizikal dan sifat fiziko-kimia). Sayuran yang diuji ialah dua varieti choy sum (*Brassica rapa* var. *parachinensis*) iaitu sawi bunga dan sawi panjang. Penilaian prestasi aplikasi sistem penyejukan evaporatif di dalam trak terhadap profil penyejukan unit penyimpanan dan kualiti sayuran berdaun terpilih semasa pengangkutan telah dilaksanakan menggunakan laluan dari FAMA Cameron Highlands ke MARDI Serdang; durasi perjalanan selama lima jam. Tiga jenis rawatan dilaksanakan iaitu:

- T1: trak dilengkapi prototaip penyejuk evaporatif (*Gambar 2*),
- T2: trak kanvas/biasa, dan
- T3: trak sejuk

Kelajuan kipas pada sistem penyejuk evaporatif ditetapkan pada 5 m/s dalam tempoh lima jam. Suhu dan kelembapan relatif di dalam unit penyimpanan setiap rawatan dan luar (persekitaran) direkod menggunakan penderia. Jumlah berat setiap sayuran



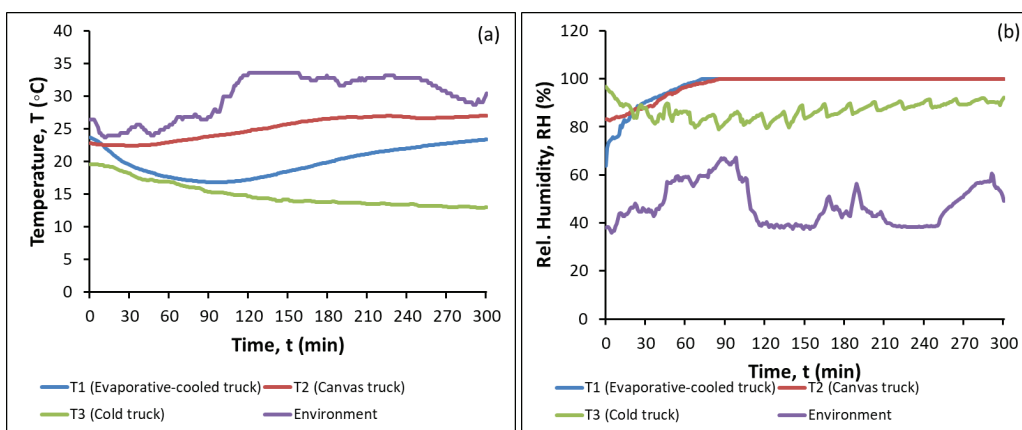
*Gambar 2. Kajian prestasi – rawatan penyimpanan dalam unit penyimpanan dengan sistem penyejuk evaporatif (T1)*

per rawatan ialah 120 kg. Kehilangan berat sayuran diukur melalui perbezaan berat sebelum dan selepas rawatan penyimpanan. Sifat fizikal sayuran yang dinilai adalah kesegaran, warna daun, kelayuan daun, kelayuan batang dan penerimaan keseluruhan. Sifat fiziko-kimia yang dinilai adalah pH, kandungan pepejal larut (SSC), jumlah keasidan boleh titrat (TTA) dan kandungan asid askorbik (AA) menggunakan kaedah standard. Selepas rawatan penyimpanan selama lima jam, kajian jangka hayat dilaksanakan dengan menyimpan semua sampel di bilik sejuk bersuhu 5 °C selama dua minggu.

Profil penyejukan menggunakan tiga rawatan penyimpanan jangka masa pendek semasa pengangkutan dari Cameron Highlands ke Serdang ditunjukkan seperti dalam *Rajah 2*. Data profil penyejukan menunjukkan suhu purata dalam unit penyimpanan semasa pengangkutan ialah  $T3 < T1 < T2$ . Pengurangan suhu (purata) di dalam unit penyimpanan trak berbanding dengan suhu ambien untuk rawatan T1,  $\Delta T_{ave}$  ialah  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ . RH untuk rawatan T1  $>90\%$  sekali gus memenuhi keperluan dan saranan RH untuk penyimpanan sayuran berdaun dalam tempoh yang dikaji.





Kualiti fizikal sayuran berdaun terpilih dari segi pengurangan berat selepas penyimpanan dengan tiga rawatan berbeza selama lima jam menunjukkan rawatan T1 memberikan kehilangan berat paling minimum berbanding dengan rawatan T2 dan T3. Produk hortikultur mudah mengalami kehilangan air ke persekitaran selepas penuaian yang mengakibatkan penurunan berat produk semasa tempoh pengangkutan. Produk akan mempamer kelayuan dan kerepot yang ketara apabila kehilangan 3 – 5% daripada berat asalnya. Justeru, penyimpanan produk hortikultur pada suhu rendah dan kelembapan relatif tinggi adalah penting untuk mengurangkan kehilangan air. Dalam kajian ini, kesemua rawatan telah menunjukkan kehilangan berat  $<3\%$  dan tiada kelayuan serta kerepot ketara selepas lima jam rawatan penyimpanan.

Penilaian visual kualiti menunjukkan trak dengan penyejuk evaporatif dan trak sejuk berupaya mengekalkan kesegaran dan memenuhi kualiti penerimaan keseluruhan sayur-sayuran berdaun yang dikaji (*Gambar 3*) sehingga hari ke-15 penyimpanan di bilik sejuk pada suhu  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$  berbanding dengan trak kanvas. Suhu sejuk pada kedua-dua rawatan ini mampu menjamin kesegaran sayuran berdaun semasa pengangkutan.



Rajah 2. Plot (a) T (b) RH melawan masa antara persekitaran (luar) dan unit penyimpanan bagi tiga rawatan berbeza



Rawatan	Sawi bunga	Sawi panjang
T1		
T2		
T3		

Gambar 3. Penilaian visual kualiti sayuran (hari ke-15 penyimpanan di bilik sejuk 5 °C)

Analisis kimia menunjukkan kualiti yang setara antara rawatan T1 dan T3 bagi choy sum (*Jadual 2*). Tiada perbezaan ketara dalam nilai SSC, pH dan TTA sayuran berdaun antara rawatan kecuali kandungan asid askorbik. Trak dengan penyejuk evaporatif dan trak sejuk menunjukkan nilai kandungan asid askorbik yang lebih tinggi berbanding dengan trak kanvas. Pengurusan suhu selepas penuaian adalah antara faktor penting untuk mengekalkan kandungan asid askorbik buah-buahan dan sayur-sayuran; kehilangan kandungan asid askorbik lebih cepat berlaku pada suhu yang tinggi dan dengan tempoh penyimpanan yang panjang. Nilai kandungan kimia sayuran berdaun pula semakin berkurang selepas tempoh 15 hari penyimpanan.

Aplikasi sistem penyejukan evaporatif di dalam pengangkutan menunjukkan kesan positif terhadap pengkalan kualiti bagi choy sum hingga dua minggu penyimpanan pada suhu 5 °C. Keputusan menunjukkan sistem mampu mengekalkan kualiti sayuran seurus selepas penuaian dan berpotensi untuk mengurangkan kehilangan lepas tuai semasa pengangkutan.

Jadual 2. Kesan rawatan berbeza terhadap sifat kimia choy sum semasa penyimpanan/ pada suhu 5 °C

Faktor utama	SSC (°Brix)	pH	TTA (% asid sitrik)	AA (mg/100 g)
Rawatan (T)				
T1	4.64	6.15	0.129	35.91 <sup>a</sup>
T2	4.70	6.14	0.125	33.12 <sup>b</sup>
T3	4.64	6.15	0.126	35.21 <sup>ab</sup>
<i>F-Test Significant</i>	ns	ns	ns	*
Hari penyimpanan (D)				
0	5.12 <sup>a</sup>	6.10 <sup>c</sup>	0.158 <sup>a</sup>	44.27 <sup>a</sup>
5	4.93 <sup>ab</sup>	6.00 <sup>d</sup>	0.130 <sup>b</sup>	35.06 <sup>b</sup>
8	4.37 <sup>bc</sup>	6.18 <sup>b</sup>	0.125 <sup>b</sup>	34.34 <sup>b</sup>
11	4.31 <sup>c</sup>	6.22 <sup>a</sup>	0.123 <sup>b</sup>	30.36 <sup>c</sup>
15	4.55 <sup>bc</sup>	6.24 <sup>a</sup>	0.100 <sup>c</sup>	29.51 <sup>c</sup>
<i>F-Test significant</i>	*	**	**	**
Interaksi T*D	*	ns	*	**

Means separation within columns and main effect by Duncan's Multiple Range test at  $p \leq 0.05$   
 ns, \*, \*\* non-significant or significant or highly significant at  $p \leq 0.05$ , respectively

## Kesimpulan

Sistem penyejukan evaporatif di dalam trak untuk penyimpanan jangka pendek sayuran semasa pengangkutan telah direka bentuk, dibangun dan dinilai prestasi. Sistem terdiri daripada penyejuk evaporatif, sistem bekalan kuasa, unit penyimpanan dan sistem pemantauan data masa nyata. Komponen utama penyejuk evaporatif ialah tangki air, pad penyejukan, motor, pam, kipas, sistem perpaipan dan panel kawalan. Sistem pemantauan data merekod suhu dan kelembapan relatif pada ruang simpanan secara masa nyata melalui sistem IoT. Penyejuk evaporatif yang dibangunkan berfungsi berasaskan prinsip penyejukan langsung untuk mencapai penurunan suhu dan peningkatan kelembapan relatif. Ia secara purata mampu menurunkan suhu sebanyak 10 °C, dan meningkatkan kelembapan relatif kepada >90% berbanding dengan persekitaran. Aplikasi sistem penyejuk evaporatif di dalam trak pengangkutan memberi kesan positif terhadap pengendalian kualiti sayuran (choy sum) sehingga dua minggu penyimpanan pada suhu 5 °C. Keputusan menunjukkan sistem ini berpotensi untuk mengurangkan kehilangan lepas tuai semasa pengangkutan pada kos efektif.

## **Penghargaan**

Penulis merakamkan setinggi-tinggi penghargaan kepada MARDI untuk dana penyelidikan [Projek Pembangunan RMke-11 (P-RM403-1001)] dan penggunaan fasiliti penyelidikan. Terima kasih juga diucapkan kepada FAMA (Selayang, Dengkil dan Cameron Highlands) atas bantuan menggunakan fasiliti penyelidikan dan staf.

## **Bibliografi**

- Dadhich, S.M., Dadhich, H. dan Verma, R. (2008). Comparative study on storage of fruits and vegetables in evaporative cool chamber and in ambient. *International Journal of Food Engineering* 4(1)
- Deoraj, S., Ekwue, E.I. dan Birch, R. (2015). An evaporative cooler for the storage of fresh fruits and vegetables. *West Indian Journal of Engineering* 38(1): 86 – 95
- FAO. (2011). *Global food losses and food waste – Extent, causes and prevention* FAO. Diperoleh dari <http://www.fao.org/3/a-i2697e.pdf>
- Kader, A.A. (2002). *Postharvest technology of horticultural crops*. (Vol. 3311). University of California, Davis: Postharvest Technology Research and Information Center
- Kitinoja, L. dan Kader, A.A. (2002). *Small-scale postharvest handling practices: a manual for horticultural crops*. University of California, Davis: Postharvest Technology Research and Information Center
- lal Basediya, A., Samuel, D. dan Beera, V. (2013). Evaporative cooling system for storage of fruits and vegetables - A review. *Journal of Food Science and Technology* 50(3): 429 – 442
- Lee, S.K. dan Kader, A.A. (2000). Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. *Postharvest Biology and Technology* 20(3): 207 – 220
- Liberty, J., Okonkwo, W. dan Echiegu, E. (2013). Evaporative cooling: A postharvest technology for fruits and vegetables preservation. *International Journal of Scientific & Engineering Research* 4(8): 2257 – 2266
- Liberty, J., Ugwuishiwu, B., Pukuma, S., et al. (2013). Principles and application of evaporative cooling systems for fruits and vegetables preservation. *International Journal of Current Engineering and Technology* 3(3): 1000 – 1006
- Sairi, M., Basri, M. S. H., Ghazali, N. S., et al. (2020). Assessment of evaporative cooling system potential for short-term storage management of vegetables during transportation. *Journal of Agricultural and Food Engineering* 3: 1 – 6



## Ringkasan

Sistem penyejukan yang mampu mengekalkan kualiti produk hortikultur semasa pengangkutan pada kos efektif amat diperlukan oleh industri. Justeru, aplikasi sistem penyejukan evaporatif bagi trak pengangkutan telah dikaji sebagai alternatif kepada trak sejuk dan trak kanvas. Artikel ini membincangkan konsep reka bentuk dan pembangunan sistem, kajian optimasi dan modifikasi sistem, serta kajian kebolehfungsian dan prestasi sistem. Reka bentuk dan pembangunan sistem terdiri daripada penyejuk evaporatif, sistem bekalan kuasa, unit penyimpanan dan sistem pemantauan data masa nyata (melalui sistem IoT). Kajian optimasi dilaksana melalui simulasi *computational fluid dynamic* (CFD) untuk penentuan konfigurasi inlet dan outlet udara dengan taburan suhu dan aliran udara optimum di dalam unit penyimpanan dan seterusnya diaplikasi dalam modifikasi sistem. Kajian prestasi sistem menilai profil penyejukan unit penyimpanan (suhu dan kelembapan relatif) dan kualiti sayuran berdaun (sifat fizikal dan sifat fiziko-kimia) untuk pasaran segar. Tiga rawatan penyimpanan untuk sayur-sayuran terpilih telah dikaji iaitu trak dengan sistem penyejuk evaporatif, trak kanvas dan trak sejuk.

## Summary

A cooling system capable of maintaining the quality of horticultural produces during transportation at cost-effective is required by the industry. Thus, the evaporative cooling system equipped in truck was studied as an alternative to a cold truck and canvas truck. This article discusses the concept of system design and development, system optimization and modification studies, as well as the study of system functionality and performance. The design and development of the system consist of an evaporative cooler, power supply system, storage unit, and real-time data monitoring system (via IoT system). Optimization study is carried out through computational fluid dynamic (CFD) simulation to determine the configuration of air inlet and outlet with optimum temperature distribution and airflow in the evaporative-cooled storage unit, and subsequently applied in system modification. The system performance study evaluated the cooling profile of the storage unit (temperature and relative humidity), and the quality of leafy vegetables (physical properties and physicochemical properties) for the fresh market. Three storage treatments for the selected vegetables were investigated, i.e., evaporative-cooled truck, canvas truck, and cold truck.

**Pengarang**

Masniza Sairi (Ts. Dr.)  
Pusat Penyelidikan Kejuruteraan  
Ibu Pejabat MARDI, Persiaran MARDI-UPM  
43400 Serdang, Selangor  
E-mel: masniza@mardi.gov.my

Mohd Shukry Hassan Basri (Ts.), Arina Mohd Noh, Yahya Sahari (Ts.), Mohd Fazly Mail (Ir. Ts.), Mohd Shahrir Azizan (Ts.), Sharifah Hafiza Mohd Ramli, Azman Hamzah (Dr.), Mohd Hafiz Mohd Amin Tawakkal, Amir Redzuan Shamsulkamal, Shafie Alwi, Mohd Zaimi Zainol Abidin, Muhammad Aliq Jamaluddin, Mohd Daniel Hazeq Abdul Rashid dan Mohd Azmirredzuan Sani  
Pusat Penyelidikan Kejuruteraan  
Ibu Pejabat MARDI, Persiaran MARDI-UPM  
43400 Serdang, Selangor

Nur Syafini Ghazali, Joanna Cho Lee Ying, Rahayu Anang, Azhar Mat Noor, Mohamad Abhar Akmal Hamid dan Nur Izzati Muhsin  
Pusat Penyelidikan Hortikultur  
Ibu Pejabat MARDI, Persiaran MARDI-UPM  
43400 Serdang, Selangor

Mohd Zaffrie Mat Amin  
Pusat Penyelidikan Sosio Ekonomi, Risikan Pasaran dan Agribisnes  
Ibu Pejabat MARDI, Persiaran MARDI-UPM  
43400 Serdang, Selangor