

Industri cendawan tempatan: Sistem rumah cendawan persekitaran terkawal IoT pintar (Local mushroom industry: Smart IoT controlled environment mushroom house system)

Ten Seng Teik, Khairul Asfamawi Khulidin, Ganisan Krishnen, Mohamad Hafiz Hashim dan Syaliyana Khairudin

Pengenalan

Sejak lebih seabad yang lalu, cendawan diketahui sebagai makanan yang mengandungi khasiat perubatan yang tinggi. Kini, cendawan telah melangkaui fungsinya sebagai makanan melalui penghasilan kepelbagaian produk farmaseutikal, nutraseutikal dan kosmeseutikal. Walaupun hampir 12,000 spesies cendawan dikenal pasti, hanya 35 spesies dikomersialkan dan 200 spesies liar digunakan untuk tujuan perubatan.

Cendawan mengandungi kepelbagaian khasiat seperti vitamin larut lemak (ergosterol) yang dianggap sebagai satu-satunya sumber vegetarian untuk vitamin D, polisakarida (β -glucan) dan antioksidan (fenolik, tokoferol dan asid askorbik). Justeru, kaedah penanaman cendawan liar telah didomestik secara komersial untuk menampung permintaan dan memenuhi keperluan semasa. Cendawan yang paling terkenal dan paling mudah dipasarkan ialah cendawan tiram dan shitake. Cendawan tiram adalah kumpulan kulat saprotropik yang pelbagai dan tergolong dalam genus *Pleurotus*. Perkara ini secara tidak langsung menjadikan industri cendawan berkembang pesat. Cendawan tiram merupakan sumber karbohidrat bukan kanji yang baik dengan kandungan serat makanan yang tinggi dan kuantiti protein yang sederhana, termasuk kebanyakan asid amino, mineral dan vitamin. Kandungan protein dalam cendawan adalah berbeza iaitu daripada 1.6 – 2.5%, manakala kandungan niasin adalah kira-kira sepuluh kali lebih tinggi daripada sayur-sayuran lain. Cendawan tiram telah dilaporkan kaya dengan vitamin C, B kompleks dan garam mineral yang diperlukan oleh tubuh manusia. Dengan kelebihan yang ada, menjadikan cendawan tiram antara cendawan yang mempunyai permintaan tinggi dan banyak diusahakan dalam kalangan pengusaha industri cendawan. Hasil pengeluaran cendawan oleh penduduk luar bandar mampu mengurangkan kadar kemiskinan dan pengangguran melalui pembangunan usahawan tani muda.

Antara dilema yang dihadapi oleh pengusaha industri cendawan adalah pengeluaran hasil yang rendah akibat perubahan cuaca yang mendadak, kualiti benih cendawan tidak konsisten (pergerakan miselium terbantut), penyakit kulat hijau dan serangan perosak (tikus, semut, biawak dan lipas). Ini menjadi isu utama yang memerlukan penyelesaian secara holistik.

Justeru, Rumah Cendawan Persekitaran Terkawal pintar (RCPT) telah dibangunkan sebagai langkah mengatasi masalah berkenaan dan cendawan tiram telah dipilih berdasarkan kelebihan yang ada untuk kajian ini.

Rumah Cendawan Persekitaran Terkawal pintar (RCPT)

Transformasi rumah hijau persekitaran terkawal kepada RCPT di Pusat Penyelidikan Kejuruteraan, Ibu Pejabat MARDI, Serdang, Selangor dilaksanakan bertujuan untuk pengeluaran cendawan dan pengujian benih cendawan terpilih berkualiti tinggi. RCPT merupakan bangunan yang dilengkapi Internet kebendaan [*Internet of Things* (IoT)] yang boleh berfungsi secara automatik mengawal parameter persekitaran dikawal dan mampu memanipulasikan persekitaran untuk meningkatkan pertumbuhan cendawan.

Projek ini memberi tumpuan kepada pembangunan teknologi RCPT sebagai bukti konsep dalam memenuhi keperluan pengeluaran pertanian moden dan prolifik, khusus untuk pengeluaran cendawan terpilih dan pengeluaran benih cendawan berkualiti. Perkembangan teknologi ini membolehkan cendawan dihasilkan dalam keadaan pertumbuhan terkawal serta tidak bergantung kepada faktor persekitaran luar. Sistem ini memberi kelebihan penyelidikan untuk menyaring dan mengenal pasti strain terbaik cendawan tiram kelabu (*Pleurotus pulmonaris*) yang terdapat di MARDI.

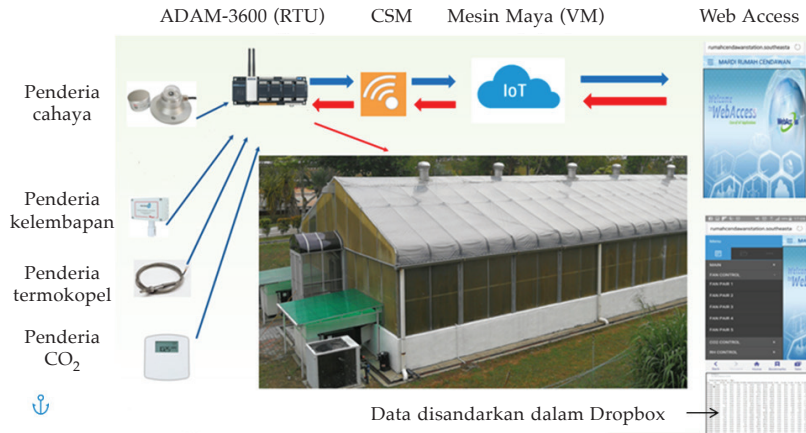
RCPT pintar ini disepadukan dengan komponen teknologi yang memenuhi piawai Revolusi Industri 4.0 (IR 4.0), sistem Internet kebendaan (IoT) dan pengkomputeran awan. *Gambar rajah 1* menunjukkan keseluruhan sistem RCPT pintar tersebut. AdvanceTech ADAM-3600, unit terminal jauh (RTU) digunakan sebagai peranti elektronik kawalan mikropemprosesan yang menghubungkan objek dalam dunia fizikal ke sistem kawalan penyeliaan dan pemerolehan data (SCADA). Data telemetri disambungkan kepada sistem induk menggunakan mesej daripada sistem penyeliaan induk untuk mengawal objek yang disambung.

RTU pula menyokong terjemahan data mentah tempatan serta mempunyai fungsi untuk mendigitalkan data analog mentah yang diterima daripada penderia (*sensor*). RTU berkomunikasi dan menerima maklumat daripada penderia cahaya, penderia kelembapan relatif, penderia suhu termokopel dan penderia CO₂. Selepas ADAM-3600 mengumpulkan semua bacaan input/output (I/O) daripada modul lain (penderia dan meter), ia akan menghantar data untuk dipaparkan dalam perisian SCADA yang terletak dalam Mesin Maya (VM) (dalam pelayan awan) melalui rangkaian Sistem Global untuk Komunikasi Mudah Alih (GSM). Mesin maya ini berjalan dalam Portal Microsoft Azure. Selain itu, ADAM-3600 bertindak sebagai kawalan logik program (PLC) untuk mengawal peralatan-peralatan dalam sistem ini. Peralatan-peralatan tersebut termasuk kipas pengudaraan atas bumbung,

sistem penyembur air (dengan titisan air bersaiz 20 – 40 μm), sistem pengabusan (titisan air bersaiz kurang daripada 10 μm) dan sistem penyaman udara (empat unit 12.5 HP). Kipas pengudaraan atas bumbung berfungsi untuk mengeluarkan udara panas keluar daripada bangunan, mewujudkan aliran udara, mengelakkan udara statik dan mengurangkan aras CO_2 bawah 700 ppm. Sistem percikan dan pengewapan air bertujuan untuk mengekalkan kelembapan relatif (RH) yang ditetapkan manakala sistem penghawa dingin adalah untuk mengawal suhu RCPT. ADAM-3600 mempunyai fungsi sambungan mesra pengguna yang cepat dan mudah, membolehkan pengguna melihat semua bacaan dan mengawal peralatan menggunakan peranti seperti telefon bimbit atau tablet dengan log masuk ke platform yang dikenali WebAccess. Semua data daripada bacaan I/O daripada penerima cahaya, penerima kelembapan relatif, penerima termokopel dan penerima CO_2 disimpan dalam Dropbox dan ADAM-3600.

Melalui penambahbaikan sistem IoT, iklim mikro RCPT pintar dapat dikawal secara automatik oleh ADAM-3600 pada sistem penghawa dingin, percikan, pengewapan dan pengudaraan (atas bumbung). Sistem ini boleh diubah dan diset tanpa mengira waktu daripada jarak jauh. Secara tidak langsung, menjadikan sistem pertanian pintar ini tidak dipengaruhi dengan perubahan cuaca yang tidak menentu. Sistem ini turut dapat mengawal suhu, keamatan cahaya dan kelembapan relatif secara konsisten dalam julat 18 – 27 $^{\circ}\text{C}$, 8 – 500 Lux dan kelembapan relatif (RH) tidak kurang daripada 70%. Keamatan cahaya dalam lingkungan 15 – 350 Lux adalah sesuai untuk pertumbuhan pelbagai jenis cendawan. *Jadual 1* menunjukkan pertumbuhan pelbagai jenis cendawan menggunakan sistem rumah cendawan pintar.

Dalam kajian ini untuk pertumbuhan cendawan tiram kelabu (*Pleurotus pulmonaris*), julat suhu terkawal dan kelembapan relatif masing-masing ditetapkan antara 21 – 27 $^{\circ}\text{C}$ dan tidak kurang daripada 70% (RH). Suhu RCPT pintar dikawal oleh empat unit sistem penghawa dingin [12.5 kuasa kuda (HP)], berdasarkan Teknik Stratifikasi Ruang Udara Khusus (SAST). Udara sejuk disalurkan ke RCPT melalui aliran bawah tanah. Kaedah ini mempunyai kelebihan untuk mengekalkan julat suhu pertumbuhan optimum di kawasan penanaman cendawan dari aras tanah. Ini bertujuan untuk mengurangkan peningkatan suhu di kawasan bawah bumbung RCPT. Kelembapan relatif dalam RCPT pintar dikawal oleh sistem penyembur air (titisan air bersaiz 20 – 40 μm) dan sistem pengabusan (titisan air bersaiz kurang daripada 10 μm). Keamatan cahaya ditetapkan bawah 350 Lux dengan menutup hampir 90% cahaya di sekeliling bangunan. Aras CO_2 dikekalkan bawah 600 ppm oleh sistem pengudaraan atas bumbung untuk disesuaikan dengan keadaan pertumbuhan optimum cendawan tiram kelabu.



Gambar rajah 1. Gambaran keseluruhan sistem IoT rumah cendawan pintar

Jadual 1. Keadaan pertumbuhan untuk pelbagai jenis cendawan

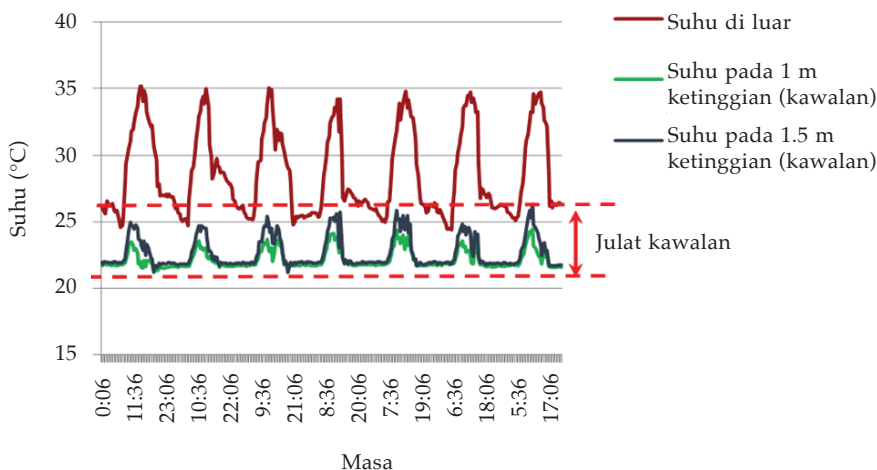
Jenis cendawan	Suhu (°C)	Kelembapan relatif (RH) (%)
Tiram raja (<i>Pleurotus eryngii</i>)	15 – 22	65 – 95
Cendawan jeli hitam (<i>Auricularia auricula-judae</i>)	25 – 26	85 – 90
Cendawan tiram kelabu (<i>Pleurotus pulmonaris</i>)	25 – 28	80 – 85

Perbandingan suhu (°C) dan kelembapan relatif (RH) antara persekitaran tidak terkawal dan terkawal

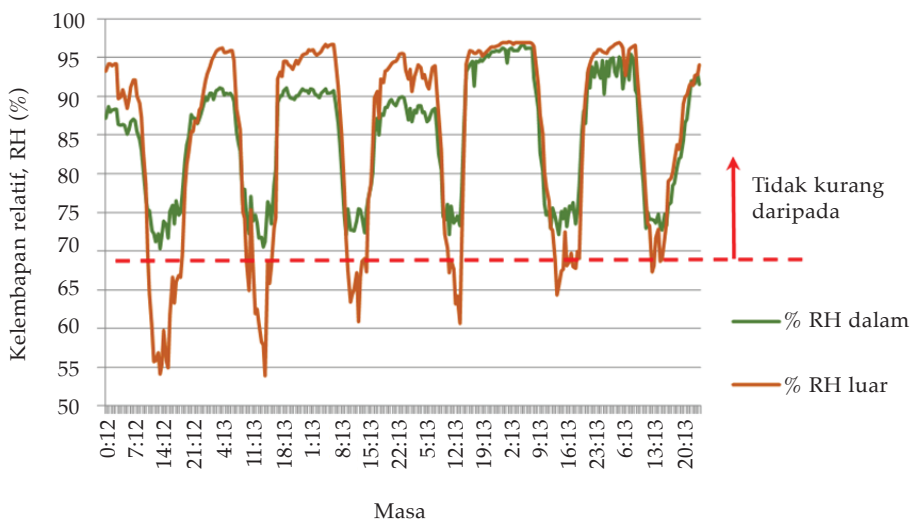
Rajah 1 dan 2 menunjukkan perbandingan suhu (°C) dan kelembapan relatif (RH) antara persekitaran tidak terkawal dan terkawal. Rajah 1 menunjukkan suhu maksimum di luar persekitaran tidak terkawal boleh mencapai 35.2 °C (maksimum) dan 24.4 °C (minimum) dengan purata 28.6 °C dan sisihan piawai (SD) 3.24 °C. Ini menunjukkan julat bacaan yang tinggi dan sangat berbeza antara waktu siang dan malam. Bagi persekitaran terkawal, bacaan suhu maksimum dicatatkan pada 24.4 °C dan 26.3 °C masing-masing pada ketinggian 1.0 m dan 1.5 m. Manakala suhu minimum 21.1 °C dicatatkan pada kedua-dua ketinggian dalam RCPT pintar. Ini menunjukkan bahawa sistem boleh mengekalkan suhu purata 22.16 °C (SD, 0.71 °C) dan 22.65 °C (SD, 1.17 °C) pada ketinggian 1.0 m dan 1.5 m dalam RCPT pintar. Serta mencapai suhu praset dengan perbezaan yang sangat kecil jika dibandingkan dengan persekitaran tidak terkawal.

Rajah 2 pula menunjukkan RH terendah untuk persekitaran tidak terkawal adalah serendah 53.87% dengan purata 63.00% (SD, 5.03%). Ini membawa maksud persekitaran tidak terkawal menunjukkan peratusan kelembapan rendah (kering) dalam persekitaran tidak terkawal berbanding dengan persekitaran terkawal (SD, 1.76%). Kelembapan relatif dalam rumah cendawan

persekitaran terkawal pintar mencatatkan RH 70.32% dengan purata RH, 73.71% (SD, 1.76%) semasa keadaan panas dan kering pada waktu siang. Ini membuktikan bahawa sistem mampu mengekalkan kelembapan relatif yang telah ditetapkan ($\geq 70\%$).



Rajah 1. Perbandingan suhu antara RCPT pintar luar dan dalam (kawalan)



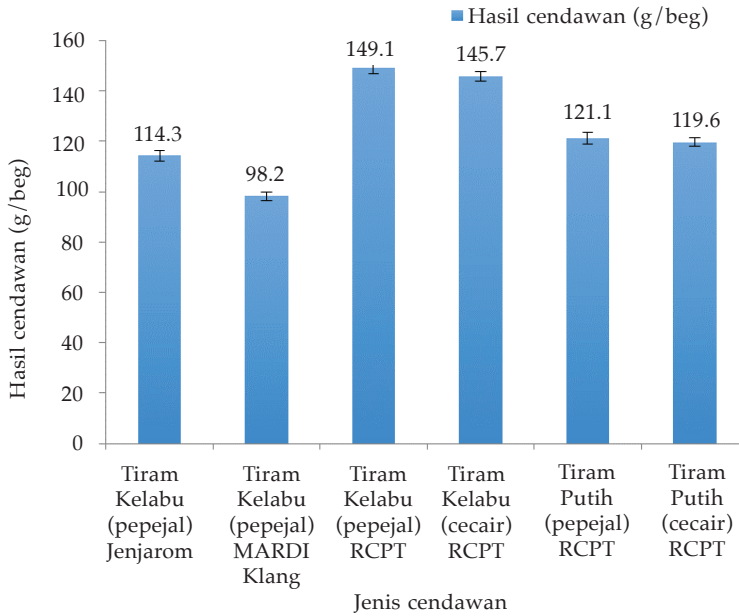
Rajah 2. Perbandingan kelembapan relatif (RH) antara RCPT pintar luar dan dalam (kawalan)

Perbandingan pertumbuhan cendawan (hasil) antara persekitaran tidak terkawal dan terkawal

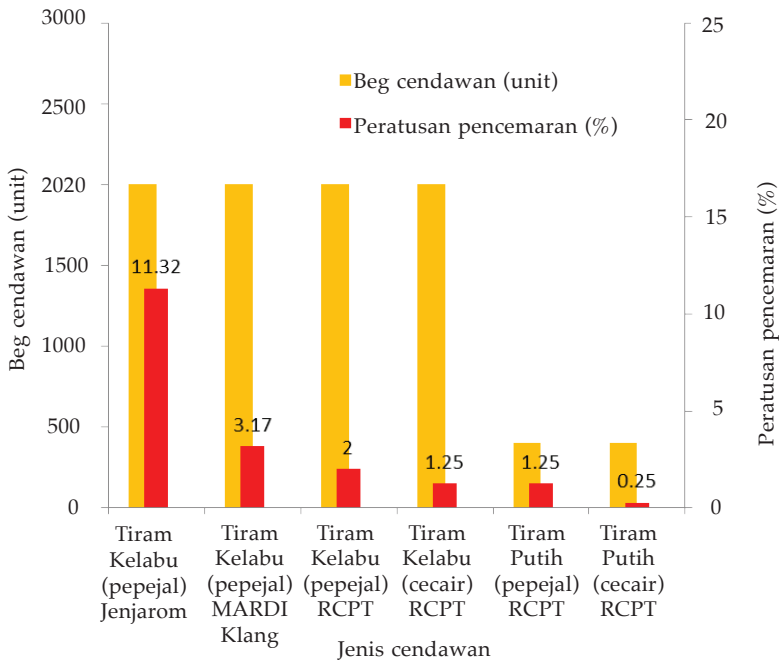
Kesan sistem tidak terkawal dan terkawal terhadap pertumbuhan cendawan ditunjukkan seperti dalam *Rajah 3* dan *4*. Persekitaran tidak terkawal dilakukan di Jenjarom dan MARDI Jalan Kebun, Klang, Selangor sebagai rumah cendawan konvensional. Manakala persekitaran terkawal dilaksanakan di RCPT pintar, Pusat Penyelidikan Kejuruteraan, Ibu Pejabat MARDI Serdang, Selangor. *Rajah 3* menunjukkan perbandingan hasil cendawan dengan menggunakan sama ada benih cendawan bijirin atau cecair dengan persekitaran tidak terkawal dan terkawal. Purata hasil cendawan tiram kelabu tertinggi dicatatkan semasa pertumbuhan di dalam RCPT pintar berbanding dengan rumah cendawan konvensional Jenjarom dan MARDI Klang. RCPT pintar menunjukkan peningkatan hasil yang ketara sebanyak 30% (purata 149.1 g/beg; SD, 2.32 g) berbanding dengan rumah cendawan konvensional, Jenjarom dengan purata 114.3 g/beg (SD, 2.12 g) dan MARDI Klang, 98.2 g/beg (SD, 1.96 g). Sebanyak 115 g/beg cendawan tiram putih dihasilkan di dalam rumah cendawan persekitaran terkawal. Ini menunjukkan bahawa RCPT pintar berpotensi digunakan untuk pertumbuhan cendawan yang memerlukan suhu rendah.

Merujuk *Rajah 4*, peratusan kerosakan beg cendawan yang paling rendah ($\leq 3\%$) adalah dicatatkan di RCPT pintar, berbanding dengan rumah cendawan konvensional, Jenjarom (11.32%) dan MARDI Klang (3.17%). Secara tidak langsung, penggunaan RCPT dapat meminimum kerosakan beg cendawan.

RCPT pintar berjaya mengawal iklim mikro rumah cendawan walaupun bawah suhu yang berbeza-beza antara waktu siang dan malam yang panas dan kering. Sekiranya persekitaran tidak terkawal, suhu boleh mencapai maksimum, 35.2 °C melebihi suhu optimum pertumbuhan cendawan tiram kelabu (*Jadual 1*). Sebaliknya, RCPT pintar telah menunjukkan keupayaan untuk mengekalkan suhu purata 22.16 °C (SD 0.71 °C) dan 22.65 °C (SD 1.17 °C) masing-masing pada ketinggian 1.0 m dan 1.5 m. Bano et al., (1982) turut menyatakan bahawa suhu optimum pertumbuhan cendawan tiram kelabu adalah antara 20 – 26 °C. Kelembapan relatif serendah 53.87% (SD, 5.03%) pada persekitaran tidak terkawal boleh menyebabkan cendawan tiram kelabu menjadi kering. Penggunaan RCPT pintar mampu mengekalkan purata RH, 73.71% semasa persekitaran luar yang panas dan kering pada waktu siang. Perkara ini tidak menjejaskan pertumbuhan cendawan tiram kelabu. Perbezaan yang bererti terhadap hasil cendawan (30%) lebih tinggi diperolehi dengan menggunakan RCPT pintar berbanding dengan rumah cendawan konvensional. Kelebihan RCPT pintar dalam menyediakan persekitaran yang kondusif untuk pertumbuhan cendawan tiram kelabu serta membantu dalam mengurangkan peratusan kerosakan beg cendawan.



Rajah 3. Perbandingan hasil cendawan dalam persekitaran tidak terkawal dan terkawal



Rajah 4. Perbandingan peratusan kerosakan beg cendawan

Kesimpulan

Pembangunan sistem kawalan RCPT pintar yang dapat mengawal suhu persekitaran dan kelembapan relatif membolehkan pertumbuhan optimum cendawan tiram kelabu walaupun suhu persekitaran Malaysia yang mana suhu boleh meningkat sehingga 41 °C dan kelembapan relatif serendah 58% atau lebih rendah semasa musim panas. Faktor cuaca menjadi kekangan utama dalam industri cendawan tempatan. Justeru, melalui pelaksanaan RCPT pintar pelbagai jenis cendawan dapat diusahakan selain cendawan tiram kelabu. Ini akan merencangkan lagi industri cendawan tempatan di samping memberi nilai tambah produk cendawan di pasaran tempatan. RCPT pintar turut menyediakan prasarana penyelidikan yang holistik dalam mengenal pasti strain baharu yang berpotensi untuk dibangunkan pada skala industri.

Penghargaan

Penulis ingin mengucapkan ribuan terima kasih atas kerjasama yang diberikan oleh penulis bersama dalam memperbaiki dan menambah baik penulisan ini. Penghargaan turut diberikan kepada pihak MARDI dan kakitangan yang membantu secara langsung dan tidak langsung dengan kajian ini.

Bibliografi

- Ahmed, M., Noorlidah, A., Ahmed, K. U., & Borhannuddin Bhuyan, M. H. M. (2016). Yield and nutritional composition of oyster mushrooms: An alternative nutritional source for rural people. *Sains Malaysiana* 45(11), 1609–1615.
- Aida, F. M. N. A., Shuhaim, M., Yazid, M., & Maaruf., A. G. (2009). Mushroom as a potential source of prebiotics: A Review. *Trends Food Sci. Technol.*, 20, 11–12.
- Bano, Zakia, & Rajarathnam, S. (1982). Studies on the cultivation of *Pleurotus sajor-caju*. *Mushroom J.*, 1, 243–246.
- Barney, D. L. (2015). Growing mushrooms commercially: Risks and opportunities. Diperoleh pada 15 Mei 2015 dari <http://www.cals.uidaho.edu>.
- Beulah, H., Margret, A. A., & Nelson, J. (2013). Marvelous medicinal mushrooms. *Int. J. Pharma Bio Sci.*, 3(1), 611–615.
- Croan, S. C. (2004). Conversion of conifer wastes into edible and medicinal mushrooms. *Forest Products Journal*, 54, 68–76.
- Himanshi, R., Shalinee, P., & Satyawati, S. (2017). Mushroom nutraceuticals for improved nutrition and better human health: A review. *Pharma Nutrition*, 5, 35–46.
- Islam, M. T., Zakaria, Z. Hamidin, N., & Mohd Ishak, M.A (2016). Characteristics of indoor mushroom cultivation of grey oyster (*Pleurotus pulmonarius*) by different stages of humidifying treatment. *World Applied Sciences Journal*, 34(8), 1066–1075.
- Ismail, M. S. (2006). Stratified air-space method in design optimization of fully controlled environment greenhouse. Dalam 34th International Exhibition of Inventions: New Techniques and Products of Geneva, Switzerland, 4 – 9 April 2006.

- Khairul, A. K. (2015). Technology Transfer for Young Generation Entrepreneur through MARDI Youth Agropreneur Programme. 2015 FTCC – MARDI: International Seminar on Cultivating The Young Generation of Farmers with Farmland Policy Implications. MARDI Headquarters, Serdang, Selangor. 26–28 May 2015. Diperoleh dari <http://www.fttc.agnet.org/activities.php?func=view&id=20150505123058>.
- Kibar, B., & Peksen, A. (2008). Modelling the effects of temperature and light intensity on the development and yield of different *Pleurotus* species. *Agric. Trop. Subtrop* 41(2), 68–73.
- Kong, W. S. (2004). Descriptions of commercially important *Pleurotus* species. Dalam *Mushroom world* (Ed.). Oyster mushroom cultivation. Part II. Oyster mushrooms. Seoul: Heineart Incorporation, m.s. 54–61.
- Pardeshi, B. M., & Pardeshi, P. M. (2009). The edible medicinal mushrooms as supportive natural nutrients: study of non-volatile mineral contents of some edible medicinal mushrooms from India; eastern remedies for modern western maladies, Proc. 5th Int. Medicinal Mushroom Conference, Mycological Society of China, Nantong, China, m.s. 514–518.
- Priya, R. U, Geetha, D., & Darshan, S. (2016). Biology and cultivation of black ear mushroom–*Auricularia* spp. *Advances in Life Sciences* 5, 10252–10254.
- Randive, S. D. (2012). Cultivation and study of growth of oyster mushroom on different agricultural waste substrate and its nutrient analysis. *Advances in Applied Science Research*, 3, 1938–1949.
- Rosmiza, M. Z., Davies, W. P., Rosniza Aznie, C. R., Jabil, M. J., & Mazdi, M. (2016). Prospects for increasing commercial mushroom production in Malaysia: Challenges and opportunities. *Mediterranean Journal of Social Sciences MC SER Publishing, Rome-Ital.* Vol.7 No. 1, S1, 406–415.
- Ryu, J. S., Kim, M. K., Im, C. H., & Shin, P. G. (2015). Development of cultivation media for extending the shelf-life and improving yield of king oyster mushrooms (*Pleurotus eryngii*). *Scientia Horticulturae*, 193, 121–126.
- Stanley, H. O., Umolo, E. A., & Stanley, C. N. (2011). Cultivation of oyster mushroom (*Pleurotus pulmonarius*) on amended corncob substrate. *Agriculture and Biology Journal of North America*, 2(8), 1239–1243.
- Wafi, S. R., Ismail, M.R., & Ahmed, E.M. (2011). A Case Study of the Climate Factor on Thermal Comfort for Hostel Occupants in Universiti Sains Malaysia (USM), Penang, Malaysia. *J. Sustain Dev.*, 4, 50.

Ringkasan

Cendawan dikenali sebagai makanan berkhasiat yang mempunyai nilai perubatan. Pada masa kini, penanaman cendawan dilakukan secara konvensional dan tidak sistematik. Justeru, rumah cendawan persekitaran terkawal (RCPT) telah dibangunkan dengan transformasi rumah hijau menjadi rumah cendawan persekitaran terkawal bersepadu dengan sistem Internet kebendaan (IoT). Iklim mikro RCPT ini dikawal secara automatik dengan gabungan parameter data yang didapati daripada pelbagai jenis penderia. Penyepaduan sistem IoT dapat mempertingkatkan sistem ini untuk mengatasi perubahan cuaca yang melampau. Proses pengaturcaraan (pengawalan) dan pemantauan boleh dilakukan sama ada secara in situ atau dari jarak jauh. Sistem RCPT telah dioptimumkan untuk penanaman cendawan tiram kelabu (*Pleurotus pulmonaris*) dengan mengenal pasti pencilan terbaik untuk pengeluaran berskala besar. Untuk mengoptimumkan pertumbuhan cendawan, integrasi antara penderia (*sensor*), sistem mekanikal dan elektronik perlu diselaraskan. Sistem yang dibangunkan dapat mengawal suhu secara konsisten dan mengekalkan kelembapan relatif (RH) dalam julat 18 – 27 °C dan tidak kurang daripada 70% ($\geq 70\%$). Pengoptimuman sistem dapat meningkatkan hasil sekurang-kurangnya 30% berbanding dengan rumah cendawan konvensional. Kadar kerosakan adalah bawah 2% dan dianggap sangat rendah berbanding dengan rumah cendawan konvensional yang kebiasaannya melebihi 10%. Sistem ini dijangka dapat menyediakan prasarana penyelidikan untuk kajian cendawan yang berkhasiat dan mempunyai nilai perubatan.

Summary

Mushrooms not only serve as delicious food, but they also have significant nutritional and therapeutic benefits. At present, mushroom growing is being carried out using conventional method that lack systematic. To address this issue, a controlled environment smart mushroom house (CEMH) has been created by converting a greenhouse into a controlled environment facility that is connected to the internet of things (IoT) system. The CEMH microclimate is smartly controlled by analyzing data from various sensors, with monitoring and adjustments done on-site or remotely. The current approach is designed for the culture of *Pleurotus pulmonaris* in order to determine the most suitable isolate for large-scale production. The implemented system effectively regulates the temperature and relative humidity (%RH) within the specified range of 18 – 27 °C and maintains a minimum %RH of 70%. This technique is capable of generating a minimum of 30% higher yield compared to conventional mushroom houses for this particular scenario. In addition, the contamination rate is effectively maintained at 2%, which is significantly lower than the average contamination rate of typical mushroom homes for entrepreneurs, which typically exceeds 10%. This method offers a research facility for mushrooms with high nutritional and therapeutic potential.

Pengarang

Ten Seng Teik (Dr.)

Pusat Penyelidikan Kejuruteraan, Ibu Pejabat MARDI,
Persiaran MARDI-UPM, 43400 Serdang, Selangor

Khairul Asfamawi Khulidin, Ganisan Krishnen (Dr.) dan Syaliyana Khairudin
Pusat Penyelidikan Sains Tanah, Air dan Baja, Ibu Pejabat MARDI,
Persiaran MARDI-UPM, 43400 Serdang, Selangor

Mohamad Hafiz Hashim

Pusat Penyelidikan Kejuruteraan, Ibu Pejabat MARDI,
Persiaran MARDI-UPM, 43400 Serdang, Selangor