

Penilaian awal prestasi mesin pengisihan warna untuk cili merah: Aplikasi teknologi dalam proses lepas tuai

(Preliminary evaluation of a colour sorting machine for red chili: technological applications in postharvest processing)

Mohd Shahrir Azizan, Wan Mohd Fariz Wan. Azman, Asnawi Shahar, Mohd Zaimi Zainol Abidin, Muhammad Aliq Jamaluddin, Ahmad Fadhul Wafiq Ab Rahman, Faewati Abdul Karim, Mohd Azmirredzuan Sani, Mohd Hafiz Mohd Amin Tawakkal, Amir Redzuan Shamsulkamal, Masniza Sairi dan Teoh Chin Chuang

Kata kunci: mesin penggred penyisih warna, penglihatan mesin, cili merah Kulai, penggredan lepas tuai, ketepatan klasifikasi

Pengenalan

Di Malaysia, varieti cili merah Kulai (*Capsicum annum* L.) merupakan antara varieti cili yang paling banyak dikomersialkan dan ditanam secara meluas di negeri Johor, Selangor dan Pahang, sama ada untuk kegunaan tempatan mahupun eksport. Penggredan kualiti adalah langkah penting dalam proses lepas tuai kerana ia mempengaruhi persepsi pembeli serta menentukan harga pasaran.

Lazimnya, penggredan cili dilakukan secara manual berdasarkan kepada ciri luaran seperti warna, saiz dan kecacatan fizikal. Kaedah ini bergantung kepada tenaga kerja, memakan masa, serta boleh terjejas akibat keletihan dan konsistensi manusia. Dengan peningkatan permintaan pembeli dan peraturan keselamatan makanan yang semakin ketat, terdapat keperluan untuk menilai kebolehlaksanaan proses penggredan menggunakan teknologi penglihatan mesin (*machine vision*).

Penggunaan mesin penggredan pengisihan warna yang berasaskan imej RGB atau multi-spektrum bagi mengenal pasti dan menggred hasil tuaian berdasarkan warna semakin meluas dalam sektor pertanian berindustri bagi memastikan kualiti yang konsisten. Namun begitu, pelaksanaan teknologi ini di Malaysia masih pada tahap rendah disebabkan oleh kos permulaan yang tinggi, kekurangan kepakaran teknikal dan keraguan terhadap prestasi mesin dalam keadaan persekitaran tempatan.

Kaedah konvensional penggredan cili merah di lapangan

Kaedah semasa penggredan cili di lapangan masih bergantung kepada tenaga kerja yang terlatih melalui pemerhatian secara fizikal. Pendekatan ini kurang cekap dan konsisten, terutamanya semasa musim puncak penuaian. Kajian menunjukkan bahawa penggredan manual boleh menghasilkan kadar ralat setinggi 20 – 30%, khususnya apabila pekerja mengalami keletihan atau tidak mendapat latihan mencukupi.

Amalan pengendalian lepas tuai yang moden dan canggih masih lagi pada tahap yang terhad. Sebagai contoh, satu kajian di Sukabumi, Indonesia mendapati bahawa kebanyakan petani hanya menjalankan

aktiviti asas seperti pengasingan dan pembungkusan tanpa melibatkan proses penting seperti penggredan dan pembersihan. Hanya 45.56% daripada amalan lepas tuai mereka mematuhi prosedur piawai yang ditetapkan. Ini mencerminkan kekurangan infrastruktur serta pengetahuan sebagai antara halangan kepada adaptasi kepada proses automasi dalam amalan lepas tuai.

Secara umumnya, penggredan cili masih dilakukan secara manual kerana kosnya yang rendah dan pelaksanaannya yang mudah. Petani tidak mempunyai akses atau pendedahan kepada teknologi automasi atau menganggapnya tidak ekonomik yang bersesuaian pada skala hasil pengeluaran mereka. Mesin penggredan pengisian warna telah menunjukkan keberkesanan dalam meningkatkan ketepatan dan konsistensi penggredan hasil seperti buah epal, tomato dan lada di China. Namun, tiada penilaian prestasi terperinci telah dijalankan terhadap varieti tempatan seperti cili merah Kulai. Selain itu, bukti kajian yang menyokong aspek keberkesanan praktikal dan kelayakan ekonomi bagi pengusaha berskala kecil masih lagi terhad.

Pengenalan mesin penggredan pengisian warna komersial

Gambar 1 menunjukkan mesin penggredan pengisian warna komersial RealTech BL30W yang direka khas untuk pengelasan hasil pertanian berdasarkan ciri penggambaran. Sistem ini menggabungkan teknologi penglihatan mesin (*machine vision*) dengan mekanisme penolakan pneumatik bagi mencapai penggredan hasil segar seperti cili dengan pantas dan konsisten. Mesin ini dilengkapi dengan kamera merah, hijau dan biru [*red, green and blue* (RGB)] beresolusi tinggi dan penerima peranti gandingan cas [*charge-coupled device* (CCD)] yang berfungsi merakam imej setiap biji cili secara berterusan semasa ia bergerak di atas tali sawat (*conveyor*).

Unit optik ini mampu mengesan perbezaan kecerahan warna, sekali gus membolehkan pengesanan tepat antara cili merah dan cili hijau. Sistem penglihatan ini berfungsi berdasarkan prinsip tri-kromatik (merah–hijau–biru) yang menyerupai persepsi visual manusia namun dengan tahap boleh ulangan yang lebih tinggi dan pengurangan ralat.

Penggunaan tali sawat membolehkan pergerakan stabil dan kedudukan tetap bagi setiap biji cili semasa proses imbasan, serta meminimumkan tindihan antara hasil. Kadar kapasiti hasil boleh dilaras kepada kelajuan tali sawat yang berbeza iaitu 35, 45 dan 55 putaran per minit [*revolutions per minute* (RPM)] membolehkan perbandingan prestasi mengikut kadar aliran hasil.

Sebaik sahaja penggredan dilakukan, sistem pneumatik akan mengaktifkan semburan udara termampat (*compressed air*) untuk menolak cili yang tidak memenuhi kriteria kualiti. Cili yang ditolak akan dikumpul dalam bekas berasingan, manakala cili berkualiti akan diarahkan ke bekas keluaran yang ditetapkan.

Mesin ini dikendalikan melalui panel sentuh dengan antara muka perisian yang mesra pengguna. Parameter penggredan seperti warna, tahap sensitiviti dan ketepatan penolakan boleh disesuaikan.



Gambar 1. Mesin penyisih warna komersial RealTech BL30W

Algoritma AI terbina secara berterusan menyesuaikan sistem melalui penentukuran berulang dan meningkatkan prestasi pengelasan mengikut variasi kumpulan cili.

Metodologi penilaian prestasi mesin penggredan pengisian warna komersial

Kajian yang dilaksanakan adalah satu eksperimen perbandingan yang membandingkan keupayaan mesin dengan kaedah penggredan secara konvensional. Tujuan utama kajian ini untuk mengenal pasti perbezaan yang signifikan dari segi ketepatan penggredan, kadar aliran hasil (*throughput*) dan konsistensi dalam klasifikasi antara kedua-dua kaedah. Penilaian prestasi sistem penggred berasaskan penglihatan mesin dalam pengelasan cili merah Kulai diuji dengan variasi kelajuan tali sawat iaitu 35, 45 dan 55 putaran per minit [*revolutions per minute* (RPM)] serta dua skala kadar aliran hasil (*feed rate*) iaitu berdasarkan jisim (berat 10 kg) dan bilangan tetap (100 biji cili).

Penilaian prestasi ini memberi tumpuan kepada parameter yang mewakili keberkesanan sistem penggredan, iaitu ketepatan klasifikasi (*classification accuracy*), ketepatan (*precision*), kadar penolakan palsu (*false rejection rate*), kadar penolakan keseluruhan (*reject rate*) dan masa pemprosesan bagi setiap kelompok (*processing time per batch*). Dengan menggabungkan penilaian berdasarkan kuantiti dan bilangan unit, ia memberikan gambaran lebih menyeluruh terhadap konsistensi sistem dalam mengendalikan variasi ciri fizikal pada buah cili. Hasil daripada penilaian ini dijangka dapat menentukan tahap kebolehgunaan sistem automasi ini untuk diaplikasikan secara

praktikal dalam rantai pengeluaran dan pengendalian hasil cili tempatan, khususnya bagi tujuan meningkatkan kecekapan dan piawaian penggredan.

$$\text{Ketepatan} = \frac{\text{Bilangan klasifikasi betul}}{\text{Jumlah keseluruhan cili}} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{Kadar ralat} = \frac{\text{Bilangan cili tersalah klasifikasi}}{\text{Jumlah keseluruhan cili}} \times 100 \quad (2)$$

$$\text{Kadar pemprosesan} = \frac{\text{Jumlah cili diproses}}{\text{Jumlah masa penggredan}} \times 100 \quad (3)$$

Penyediaan sampel

Gambar 2 dan *Gambar 3* menunjukkan sampel cili merah Kulai segar yang baru dituai telah dikumpulkan khusus untuk tujuan kajian ini. Penuaian dilakukan secara manual apabila cili mencapai tahap kematangan komersial. Lokasi ladang sumber adalah dari dua kawasan utama pengeluaran, iaitu Pertubuhan Peladang Kawasan (PPK) Hulu Langat dan projek Inisiatif Pendapatan Rakyat (IPR) Intan Putrajaya. Bagi analisis secara instrumental menggunakan alatan makmal *Chroma Meter*, sampel cili merah Kulai diperoleh dari pasar raya premium iaitu Jaya Grocer bagi kategori cili premium manakala cili merah pasar dan cili kering diperoleh dari Pasar Borong Selayang.

Semua sampel cili menjalani proses pemeriksaan kualiti secara visual. Tujuannya adalah untuk memastikan tiada kerosakan fizikal yang ketara serta untuk mengenal pasti kualiti permukaan hasil. Pemeriksaan ini dilakukan berpandukan piawaian mutu lepas tuai yang ditetapkan. Berdasarkan pemerhatian tersebut, setiap biji cili disusun dan dikategorikan secara sistematik ke dalam dua kumpulan utama yang mewakili tahap kualiti berbeza. Pengelasan ini adalah penting bagi memastikan ketepatan penilaian semasa ujian prestasi sistem penggredan dijalankan.

Warna merupakan penunjuk visual utama dalam menentukan tahap kematangan dan kualiti cili dalam proses penggredan lepas tuai dan memainkan peranan penting dalam penerimaan pengguna serta nilai pasaran. Dalam kajian ini, warna cili merah Kulai dianalisis melalui pemeriksaan visual dan juga secara instrumental menggunakan sistem penglihatan mesin yang diintegrasikan dengan *Chroma Meter*. Tujuan utama analisis ini adalah untuk mengukur tahap keamatan warna merah yang biasanya dikaitkan dengan kematangan optimum dan kualiti gred tinggi.

Sistem penglihatan mesin yang digunakan telah merakam imej digital dalam format RGB bagi setiap sampel cili yang kemudiannya ditukarkan kepada nilai dalam ruang warna CIE L a b*. Ruang warna ini diterima secara meluas dalam sains makanan kerana keupayaannya meniru persepsi warna oleh manusia dengan lebih tepat. Dalam

sistem ini, nilai L^* mewakili kecerahan (0 = hitam, 100 = putih), a^* menunjukkan peralihan antara hijau ($-a$) dan merah ($+a$), manakala b^* mencerminkan julat antara biru ($-b$) dan kuning ($+b$).

Bagi kajian ini, fokus utama diberikan kepada nilai a^* kerana ia secara langsung berkait rapat dengan tahap pewarnaan merah pada buah cili yang merupakan petunjuk kritikal bagi kematangan dan mutu. *Jadual 1* menunjukkan purata $\pm$ sisihan piawai bagi nilai L a b^* tiga kategori cili iaitu cili merah gred premium, cili merah pasar dan cili merah kering. Cili merah gred premium menunjukkan nilai a^* tinggi (36.79 ± 0.98) dengan variasi minimum, menandakan kematangan yang seragam. Sebaliknya, cili merah pasar mencatat purata a^* lebih tinggi (37.94 ± 3.93) tetapi dengan julat variasi yang lebih besar, mencerminkan tahap kematangan yang tidak sekata. Cili merah kering pula menunjukkan nilai a^* paling rendah (35.32 ± 3.80), disebabkan oleh degradasi pigmen akibat proses pengeringan.



Gambar 2. Penyediaan sampel cili merah



Gambar 3. Penyediaan sampel cili hijau

Jadual 1. Analisis warna cili merah menggunakan *Chroma Meter*

<i>Chroma Meter</i>	Cili merah (premium)	Cili merah (pasar)	Cili merah kering
L	34.49 ± 1.47	35.61 ± 0.11	33.74 ± 1.49
a	36.79 ± 0.98	37.94 ± 3.93	35.32 ± 3.80
b	15.96 ± 1.31	15.86 ± 3.03	14.65 ± 3.17

Dari segi kecerahan (L^*), cili merah gred premium mencatat purata 34.49 ± 1.47 , lebih gelap sedikit berbanding dengan cili merah pasar (35.61 ± 0.11) dan lebih cerah daripada cili merah kering (33.74 ± 1.49). Nilai b^* yang mewakili bias kuning-biru, lebih tinggi dalam sampel segar dan paling rendah dalam cili merah kering yang dipercayai berpunca daripada kehilangan kilauan dan proses pencoklatan (*browning*) semasa pengeringan. Imej representatif

(Gambar 4) menunjukkan perbezaan visual antara ketiga-tiga kategori cili yang sejajar dengan dapatan instrumental. Ini membuktikan keberkesanan gabungan sistem penglihatan mesin dan analisis L a b* dalam penggredan cili.

Secara keseluruhan, pencirian warna ini mengesahkan keupayaan sistem penglihatan mesin dalam mengenal pasti dan membezakan gred kualiti berdasarkan parameter warna yang boleh diukur. Dapatan ini menyokong penggunaan algoritma berasaskan L a b* dalam sistem penggredan automatik lepas tuai.



Gambar 4. Penggredan dan penyisihan menggunakan mesin RealTech BL30W

Penilaian prestasi mesin penggredan penyisih warna

Mesin RealTech BL30 merupakan sistem penggredan optik komersial yang dilengkapi dengan sensor optik RGB dan inframerah dekat (NIR), algoritma klasifikasi yang diperkasa dengan AI, serta mekanisme penolakan pneumatik untuk mengasingkan hasil pertanian berdasarkan kepada parameter kualiti yang ditentukan. Gabungan teknologi ini membolehkan sistem menjalankan proses penggredan secara automatik dengan ketepatan yang tinggi dan konsisten.

Dalam kajian ini, konfigurasi eksperimen telah diatur bagi menilai prestasi penggredan mesin terhadap cili merah Kulai. Pertama, sistem telah diprogramkan untuk mengenal pasti dan membezakan antara cili merah dan cili hijau, seterusnya mengasingkan kedua-dua kategori ke dalam dua bekas keluaran berasingan. Arahan klasifikasi ini ditetapkan melalui perisian kawalan mesin yang membolehkan penyesuaian parameter penggredan mengikut keperluan kajian.

Kedua, ambang klasifikasi (*classification thresholds*) telah ditala menggunakan analisis penglihatan mesin terhadap variasi rona spektrum (*spectral hue*) yang merangkumi perbezaan halus dalam warna berdasarkan intensiti dan ketepatan. Dalam tetapan awal, sistem

menggunakan konfigurasi (*preset*) yang disediakan oleh pengilang, namun penentukuran tambahan telah dilakukan untuk menyesuaikan dengan ciri visual spesifik cili merah Kulai tempatan.

Ketiga, kelajuan tali sawat (*conveyor*) telah diubah suai pada tiga tahap berbeza iaitu 35 RPM, 45 RPM dan 55 RPM – bagi membolehkan perbandingan prestasi dijalankan dalam keadaan kadar aliran hasil (*throughput*) yang berbeza. Perubahan kelajuan ini penting untuk menilai kesan terhadap ketepatan penggredan, kadar pemprosesan serta kestabilan pengendalian fizikal hasil semasa proses pengimbasan dan penolakan dijalankan. *Jadual 2* dirujuk bagi menunjukkan kesan kelajuan tali sawat terhadap peratusan ketepatan penggredan yang boleh dicapai.

Prestasi penggredan mesin penggred warna pada kadar suapan 10 kg menunjukkan hasil paling stabil dan tepat apabila dikendalikan pada kelajuan tali sawat 45 RPM. Ketepatan tertinggi yang dicatatkan ialah 99.7% dengan nilai ketepatan (*precision*) 91.2% bagi cili merah dan 92.6% bagi cili hijau. Kadar penolakan palsu adalah minimum (antara 0.177 – 0.488 kg), manakala jumlah penolakan keseluruhan juga rendah (0.206 kg), dengan masa pemprosesan sekitar 3.21 – 5.00 minit. Ini menunjukkan tahap optimum sistem pada kelajuan sederhana.

Pada kelajuan tali sawat 35 RPM, ketepatan tertinggi dicapai pada 85.9%, dengan nilai ketepatan 89.8% (cili merah) dan 91.7% (cili hijau). Namun, prestasi merosot ketara pada 55 RPM, dengan penurunan ketepatan kepada hanya 52.4%. Nilai ketepatan juga menurun kepada 58.1% dan 50.2% masing-masing untuk cili merah dan hijau, disertai dengan kadar penolakan palsu tertinggi. Ini membuktikan bahawa kelajuan tali sawat yang terlalu tinggi menjejaskan kualiti pengimejan dan ketepatan klasifikasi.

Ujian tambahan berdasarkan jumlah tetap 100 biji cili setiap kelompok turut dilaksanakan bagi setiap tetapan kelajuan. Sekali lagi, tetapan 45 RPM menunjukkan konfigurasi paling optimum dengan ketepatan 96.5% dan kejituan masing-masing 97.0% (cili merah) dan 96.0% (cili hijau). Masa pemprosesan dicatatkan antara 1.48 – 2.10 minit, menunjukkan keseimbangan antara kepantasan dan kecekapan klasifikasi tinggi yang sesuai untuk operasi pembungkusan berskala sederhana hingga besar yang memerlukan konsisten dari segi mutu.

Jadual 2. Purata peratusan ketepatan berdasarkan kelajuan tali sawat

Kelajuan tali sawat (RPM)	Tekanan Udara (kPa)	Terima (OK)	Tolak (tidak OK)	Ketepatan (%)
35	0.3	8.81	1.22	88.1
45	0.3	9.37	0.61	93.7
55	0.3	5.59	4.33	55.9

Sebaliknya, pada 55 RPM, ketepatan penggredan merosot ke aras terendah 55.5%, dengan kadar kejituan sekitar 55.1 – 55.9% serta peningkatan ketara dalam penolakan palsu. Walaupun pemprosesan berlaku pantas, tetapan ini tidak sesuai untuk aplikasi penggredan berkualiti. Tetapan 35 RPM pula memberikan ketepatan sederhana 87.0% dengan kejituan 86.3% (cili merah) dan 87.8% (cili hijau). Walaupun sesuai untuk operasi berskala kecil, masa pemprosesan yang lebih perlahan berisiko menjadi halangan dalam pemprosesan berkapasiti tinggi.

Penilaian penggredan secara konvensional

Rajah 5 menunjukkan proses penggredan konvensional secara manual oleh pengendali manusia turut dilaksanakan dalam kajian ini sebagai penanda aras bagi membandingkan prestasi dengan mesin penggred warna. Kaedah manual ini melibatkan tiga orang operator yang menjalankan tugas penggredan di bawah dua syarat eksperimen yang sama, iaitu kelompok 10 kg dan kelompok 100 biji cili. Penggredan dilakukan melalui pemeriksaan visual berdasarkan warna, di mana setiap operator menggred sampel mengikut pengalaman dan pertimbangan peribadi. Masa pemprosesan turut direkodkan untuk tujuan perbandingan. *Jadual 3* dan *Jadual 4* menunjukkan masa penggredan dan penyisihan secara manual yang direkod bagi tiga operator untuk kelompok 10 kg dan 100 biji cili.



Gambar 5. Penggredan dan penyisihan secara manual

Jadual 3. Ujian kaedah manual kelompok 10 kg

Operator	Masa penggredan (minit)
Operator 1	15.22
Operator 2	17.80
Operator 3	17.38
Purata	16.80

Jadual 4. Ujian kaedah manual kelompok 100 biji

Operator	Masa penggredan (minit)
Operator 1	1.25
Operator 2	1.33
Operator 3	1.17
Purata	1.25

Kesimpulan

Hasil penilaian menunjukkan bahawa mesin penggredan penyisih warna berprestasi optimum pada kelajuan 45 RPM dengan ketepatan klasifikasi mencapai 99.7% dan ketepatan melebihi 91% bagi kedua-dua kategori cili merah dan hijau. Kadar penolakan palsu dan masa pemprosesan juga berada dalam julat minimum, sekali gus membuktikan kecekapan sistem dalam senario pemprosesan sebenar. Sebaliknya, kelajuan terlalu tinggi (55 RPM) mengurangkan ketepatan dengan ketara, manakala kelajuan rendah (35 RPM) pula memperlahankan kadar pemprosesan (*throughput*). Penilaian berdasarkan sistem warna CIE L a b* juga mengesahkan kebolehan mesin dalam mengesan variasi warna dengan tepat, menjadikannya sesuai untuk penggredan berdasarkan kematangan dan kualiti visual. Bandingkan dengan kaedah manual, walaupun operator mampu menggred dengan masa yang lebih kompetitif dalam kelompok kecil, konsistensi, keletihan dan kebergantungan terhadap penilaian subjektif menyebabkan risiko ketidaktepatan yang lebih tinggi, terutama dalam pengeluaran berskala besar. Justeru, sistem automatik seperti mesin penyisih komersial RealTech BL30W menawarkan penyelesaian yang lebih konsisten, pantas dan mudah diskalakan untuk menyokong sistem pengendalian lepas tuai moden di Malaysia. Dapatan ini menyokong penggunaan teknologi penglihatan mesin dalam meningkatkan kecekapan dan mutu penggredan hasil hortikultur tempatan, serta membuka peluang bagi perluasan adaptasi mekanisasi dan automasi dikalangan pengeluaran berskala kecil dan sederhana.

Penghargaan

Penulis merakamkan setinggi-tinggi penghargaan dan ucapan terima kasih kepada pihak pengurusan di Pusat Penyelidikan Kejuruteraan MARDI dan Pertubuhan Peladang Kawasan (PPK) Hulu Langat dan projek Inisiatif Pendapatan Rakyat (IPR) Intan Putrajaya, ahli-ahli projek, kakitangan sokongan dan semua pihak yang telah memberikan kerjasama serta sumbangan secara langsung atau tidak langsung dalam pelaksanaan dan kejayaan projek ini.

Bibliografi

- Abbott, J. A. (1999). Quality measurement of fruits and vegetables. *Postharvest Biology and Technology*, 15(3), 207–225.
- Abdul Aziz, A., Rahman, M. M., Omar, A. F., & Wahid, K. A. (2022). Deep learning-based chili grading using computer vision. *Computers and Electronics in Agriculture*, 198, 107010.
- Abubeker, M. G., Hussin, M., & Shafri, H. Z. M. (2023). Machine vision and deep learning for chili maturity classification. *Agronomy*, 13(2), 482.
- Asian, M. M., Rahman, M. M., & Rahim, M. A. (2024). Adoption of digital postharvest technologies in Southeast Asia: Opportunities and barriers. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 76(1), 55–68.
- Brosnan, T., & Sun, D.-W. (2004). Improving quality inspection of food products by computer vision—A review. *Journal of Food Engineering*, 61(1), 3–16.
- Cubero, S., Aleixos, N., Moltó, E., Gómez-Sanchis, J., & Blasco, J. (2011). Advances in machine vision applications for automatic inspection and quality evaluation of fruits and vegetables. *Food and Bioprocess Technology*, 4(4), 487–504.
- El-Sayed, A., Salem, A., & El-Shaer, H. (2023). Smart color sorting systems for agricultural products: A comprehensive review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 205, 107627.
- Elwakeel, A., Ahmed, E., & Abdalla, A. (2023). Optical sorting technologies in agriculture: Applications and economic impact. *Journal of Food Engineering*, 348, 111324.
- Gowen, A. A., O'Donnell, C. P., Cullen, P. J., Downey, G., & Frias, J. M. (2007). Hyperspectral imaging—An emerging process analytical tool for food quality and safety control. *Trends in Food Science & Technology*, 18(12), 590–598.
- Jha, S. N., Kingsly, A. R. P., & Chopra, S. (2010). Physical and mechanical properties of mango during growth and storage for determination of maturity. *Journal of Food Engineering*, 97(1), 98–104.
- Kader, A. A. (2002). *Postharvest technology of horticultural crops* (3rd ed.). University of California Agriculture and Natural Resources.
- Khuriyati, N., Purnomo, E. H., & Setyawan, A. (2018). Physical properties of chili affecting grading by machine vision. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 131(1), 012021.
- Kitinoja, L., & Kader, A. A. (2015). Measuring postharvest losses of fresh fruits and vegetables in developing countries. *Postharvest Biology and Technology*, 76, 34–42.

- Mahmud, T. M. M., Rahman, M. M., & Noranai, S. (2019). Mechanization challenges in Malaysian horticulture. *Malaysian Journal of Agriculture*, 47(2), 112–123.
- Ministry of Agriculture and Food Security. (2021). National Agrofood Policy 2.0 (2021–2030). Government of Malaysia.
- Moghadam, P. A., Rahman, R. A., & Ahn, J. (2015). Apple quality classification using computer vision and machine learning techniques. *Journal of Food Process Engineering*, 38(1), 88–97.
- Morgan, K. (2021). Smallholder farmers and technology adoption: Economic considerations. *Agricultural Economics Review*, 22(1), 45–59.
- Patel, K. K., Kar, A., Jha, S. N., & Khan, M. A. (2012). Machine vision system: A tool for quality inspection of food and agricultural products. *Journal of Food Science and Technology*, 49(2), 123–141.
- Ram, J., Kumar, N., & Singh, R. (2023). Automated chili detection and grading using YOLOv5 framework. *Artificial Intelligence in Agriculture*, 9, 100089.
- Roslan, N. I., Rahim, A. N., & Hamid, N. (2018). Labour issues in Malaysian agriculture: Trends and challenges. *Journal of Agribusiness Marketing*, 9(1), 15–28.
- Sani, S., Ismail, M. R., & Anuar, A. R. (2020). The performance of chili (*Capsicum annuum* L.) production in Malaysia: Current status and future prospects. *Malaysian Journal of Sustainable Agriculture*, 4(1), 1–7.
- Sirisomboon, P., Tanaka, M., & Kojima, T. (2012). Evaluation of tomato textural properties using image analysis. *Journal of Food Engineering*, 111(4), 618–624.
- Waqar, A., Shahid, M., & Khan, A. (2023). Vision-based automated quality inspection of agricultural produce: A review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 200, 107228.
- Wigati, E., Dewi, T., & Nursamsi, M. (2020). Analysis of postharvest handling of chili farmers in Sukabumi, Indonesia. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 518, 012030.
- Wills, R., McGlasson, B., Graham, D., & Joyce, D. (2007). Postharvest: An introduction to the physiology and handling of fruit, vegetables and ornamentals (5th ed.). UNSW Press.
- Zhao, Y., Guo, Y., & Wu, J. (2016). Machine vision-based quality classification of bell peppers. *Journal of Food Engineering*, 173, 19–28.

Ringkasan

Kajian ini menilai prestasi mesin penggredan penyisih warna komersial RealTech BL30W bagi cili merah Kulai (*Capsicum annuum* L.) dalam proses lepas tuai, di mana mesin berasaskan teknologi penglihatan mesin dengan penerima RGB dan sistem pneumatik ini diuji secara terkawal terhadap kaedah manual menggunakan dua tetapan aliran hasil (10 kg dan 100 biji) serta tiga kelajuan tali sawat (35, 45 dan 55 RPM). Keputusan menunjukkan kelajuan 45 RPM memberikan prestasi terbaik dengan ketepatan klasifikasi sehingga 99.7%, kejituan melebihi 91% untuk kategori merah dan hijau serta kadar penolakan palsu yang rendah, manakala kelajuan 35 RPM stabil, tetapi perlahan dan 55 RPM menyebabkan ketepatan merosot akibat gangguan imej

pada aliran tinggi. Walaupun kaedah manual lebih pantas untuk jumlah kecil, ia kurang konsisten kerana bergantung pada penilaian subjektif operator. Secara keseluruhan, RealTech BL30W membuktikan potensi automasi dalam meningkatkan kecekapan, ketepatan dan kualiti penggredan hortikultur tempatan serta menyokong peluasan penggunaan teknologi pintar dalam rantaian pengendalian lepas tuai di Malaysia.

Summary

This study evaluates the performance of the RealTech BL30W colour sorting machine for postharvest grading of Kulai red chilli (*Capsicum annuum* L.), which integrates machine vision technology with RGB sensors and pneumatic ejectors to classify chilli pods based on colour. Controlled experiments compared the system against manual grading across two feeding conditions (10 kg and 100 fruits) and three conveyor speeds (35, 45 and 55 RPM). Findings show that 45 RPM delivered the best performance, achieving up to 99.7% classification accuracy, over 91% precision and low false rejection rates, while 35 RPM offered stable but slower throughput and 55 RPM reduced accuracy due to motion blur and inconsistent imaging. Although manual grading was faster for smaller batches, it displayed greater variability and inconsistency. Overall, results indicate that the RealTech BL30W is a reliable, consistent, and scalable automation solution for chilli postharvest grading, with strong potential to support Malaysia's horticultural sector by improving labor efficiency, product quality and competitiveness in modern agricultural markets.

Pengarang

Ts. Mohd Shahrir Azizan
Pusat Penyelidikan Kejuruteraan, Ibu Pejabat MARDI,
Persiaran MARDI-UPM 43400 Serdang, Selangor
E-mel: shahrir@mardi.gov.my

Wan Mohd Fariz Wan Azman, Asnawi Shahar, Mohd Zaimi Zainol Abidin,
Muhammad Aliq Jamaluddin, Ahmad Fadhlul Wafiq Ab Rahman, Faewati Abdul
Karim, Mohd Azmirredzuan Sani, Mohd Hafiz Mohd Amin Tawakkal, Amir Redzuan
Shamsulkamal, Masniza Sairi (Dr.) dan Teoh Chin Chuang (Dr.)
Pusat Penyelidikan Kejuruteraan, Ibu Pejabat MARDI,
Persiaran MARDI-UPM 43400 Serdang, Selangor