

Penilaian kuantitatif bagi kecekapan pengupasan halia secara mekanikal menggunakan teknik pengimejan

(Quantitative assessment of mechanical ginger peeling efficiency using imaging techniques)

Sharifah Hafiza Mohd Ramli, Saiful Bahari Saari, Saiful Azwan Azizan, Hasmin Hakim Hasbullah, Afiqah Aina Rahim, Masniza Sairi, Teoh Chin Chuang, Nurzam Ezdiani Che Husin, Nur Ilida Mohamad, Wan Nurzahidah Wan Zainon, Sharizan Ahmad, Ahmad Fadhlul Wafiq Abd Rahman, Mohd Hafiz Mohd Amin Tawakkal, Faewati Abdul Karim, Mohd Zaimi Zainol Abidin, Muhammad Aliq Jamaluddin, Shafie Alwi, Amir Redzuan Shamsulkamal, Mohd Azmirredzuan Sani, Mohammad Shukri Johari dan Mohd Fakhri Hashim

Kata kunci: halia, pengupasan halia, rizom halia, teknik pengimejan, perisian pengimejan

Pengenalan

Malaysia merupakan antara pengeluar halia terbesar di Asia Pasifik dengan jumlah pengeluaran sekitar 9.1 tan metrik pada 2023. Pahang, Sabah dan Sarawak merupakan negeri utama pengeluar halia di Malaysia. Halia merupakan rizom yang tertanam di dalam tanah, oleh itu ia mempunyai risiko keselamatan makanan daripada bakteria bawaan tanah seperti *Salmonella* spp. dan *E. coli* sekiranya proses pembersihan dan pengupasan tidak dijalankan secara efektif. Pengupasan adalah langkah penting dalam pemprosesan halia, kerana ia boleh mempengaruhi kualiti produk akhir dan kecekapan keseluruhan proses. Bentuk halia yang tidak sekata dan kompleks menyukarkan proses pengupasan, memerlukan tenaga kerja yang intensif dan memakan masa. Proses pengupasan secara manual juga boleh mendatangkan ketidakselesaian kepada operator seperti rasa pijar, risiko kecederaan dan kecekapan yang rendah. Proses pengupasan secara manual melibatkan bayaran upah yang tinggi, sekitar RM15/kg halia untuk seorang operator.

Proses pengupasan secara mekanikal boleh dijalankan dengan menggunakan pelbagai kaedah seperti mesin pengupas jenis berus ataupun mesin pengupas dengan permukaanelas. Kedua-dua mesin berupaya untuk mengupas halia dengan kapasiti yang lebih tinggi, kadar kerja yang lebih tinggi, mengurangkan ketidakselesaian kepada operator dan meningkatkan kecekapan pengupasan. Proses pengupasan secara mekanikal antara kaedah yang paling menyerupai kaedah pengupasan manual. Walau bagaimanapun, kaedah ini kurang fleksibel dan menghasilkan sisa yang tinggi. Maka, parameter pemprosesan semasa pengupasan perlu dioptimumkan untuk mendapatkan hasil pengupasan halia yang baik di samping kehilangan yang minimum.

Teknik pengimejan telah digunakan dengan meluas dalam pemprosesan makanan sama ada untuk penilaian kualiti atau keselamatan makanan. Penggunaan kecerdasan buatan dan pembelajaran mendalam (*machine learning*) disertakan dalam

pemprosesan imej untuk memberi nilai tambah kepada teknik pengimejan. Dengan kemajuan teknologi seperti ini, pelbagai maklumat boleh diperolehi dengan hanya menggunakan sekeping gambar. Selain itu, penggunaan imej pada telefon pintar juga telah mula dikaji sama ada berupaya untuk digunakan dalam penilaian kualiti makanan, kerana kosnya yang rendah, mesra pengguna, mudah alih dan keupayaannya sebagai alat pengesanan pantas. Namun, masih terdapat limitasi yang perlu diatasi sebelum penggunaan imej pada telefon pintar dapat dimanfaatkan sepenuhnya untuk kegunaan kajian yang komprehensif. Sehubungan itu, teknik pengimejan turut berpotensi digunakan untuk menilai keberkesanan operasi mesin pemprosesan makanan, termasuk pengupasan halia secara mekanikal.

Walaupun penggunaan teknologi dapat meningkatkan produktiviti, penilaian terhadap kecekapan mesin perlu dijalankan untuk menilai keberkesanan, meminimumkan pembaziran dan kesannya terhadap kualiti produk akhir. Kajian ini dijalankan untuk mendapatkan parameter optimum proses pengupasan halia secara mekanikal menggunakan mesin. Analisis secara kuantitatif digunakan untuk menilai kecekapan mesin serta perbandingannya dengan mesin sedia ada, di samping penggunaan teknologi pengimejan bagi menentukan tahap pengupasan halia.

Pengupasan halia secara mekanikal

Sebelum proses pengupasan, rizom halia perlu dipatahkan untuk menambahkan luas permukaan yang bersentuhan dengan permukaanelas semasa pengupasan secara mekanikal. Halia yang telah dipatahkan dimasukkan secara berterusan ke dalam mesin pengupas jenis berus guling yang beroperasi untuk tempoh masa yang berbeza, iaitu 1, 3 dan 5 minit. Selepas setiap pengupasan, halia dikumpulkan dan ditimbang untuk mendapatkan berat selepas dikupas. Kajian dijalankan sebanyak tiga replika bagi setiap tempoh masa. Sampel halia yang dikupas kemudiannya dianalisis menggunakan teknik kolorimetri dan pengimejan untuk menentukan tahap kecekapan pengupasan.

Dua jenis mesin pengupas sedia ada yang menggunakan kaedah pengupasan secara abrasif telah dibandingkan dari segi kapasiti pemprosesan dan kecekapan pengupasan. *Gambar 1* menunjukkan dua kaedah yang digunakan, kaedah (a) terdiri daripada gabungan mesin pembasuh sayuran (*vegetable washer*) dan pengupas jenis batu (*stone peeler*) dan kaedah (b) pengupas berus guling (*roller brush peeler*). Mesin pembasuh sayuran (Atir II, Nilma, Itali) berdimensi 112 cm × 82 cm × 103 cm dan pengupas jenis batu berdiameter 30 cm dengan ketinggian 100 cm (Kompleks Teknologi Makanan) digunakan dalam kaedah ini. Mesin pengupas jenis batu diperbuat daripada keluli tahan karat dengan bahagian dalam silinder dilapisi permukaanelas berasaskan silikon karbida yang berfungsi untuk mengupas kulit halia semasa berputar. Mesin berus guling (HL-1200, BR, China) pula diperbuat daripada keluli tahan karat SUS 304 (208.5 cm × 65.5 cm × 72.8 cm), mempunyai tujuh unit berus berputar berdiameter 12.0 cm dengan panjang 70.5 cm. Penggunaan mesin

pada kaedah (a) boleh memproses sekitar 60 kg/jam manakala mesin pada kaedah (b) pula boleh memproses sekitar 360 kg/jam halia. Selain kadar kerja yang tinggi, kaedah (b) ini mengurangkan keperluan mesin pembasuh kerana unit operasi pembasuhan telah digabungkan semasa operasi pengupasan, maka kos operasi dapat dikurangkan. Mesin dengan kaedah ini secara optimumnya boleh memuatkan 30 kg halia/kelompok pemprosesan. Kajian seterusnya membincangkan kebolehlaksanaan pengupasan halia secara mekanikal menggunakan mesin pengupas jenis berus guling.



Gambar 1. Mesin pengupasan yang boleh digunakan untuk mengupas halia – kaedah (a) gabungan mesin pembasuh sayuran (vegetable washer) dan pengupas jenis batu (stone peeler) dan kaedah (b) mesin pengupas berus guling (roller brush peeler)

Analisis kajian

Tetapan analisis imej dan pengumpulan data

Sampel halia yang telah dikupas dikumpulkan dan disusun di atas platform berlatarbelakangkan hitam untuk memberikan kontras yang jelas antara kulit halia dan isi halia yang telah dikupas. Kamera telefon dengan resolusi tinggi digunakan untuk menangkap imej halia dari jarak yang konsisten bagi memastikan pencahayaan yang seragam untuk setiap imej yang diambil. Sebanyak 30 – 40 imej diambil dan disimpan dalam format imej (.jpg) untuk analisis selanjutnya. Analisis imej menggunakan perisian *Image J* ditunjukkan seperti dalam *Carta alir 1*.

Imej halia (sebelum pengupasan, selepas 1, 3 dan 5 minit pengupasan) dimuat naik ke dalam perisian pemprosesan imej sumber terbuka, iaitu *Image J* (1.43r, USA)



Imej diproses kepada format skala kelabu (*gray scale*) (8-bit)



Fungsi *Threshold* digunakan untuk menukar imej kepada format binari bagi membezakan kawasan yang dikupas dan tidak dikupas dengan jelas



Kawasan halia yang telah terkupas dilorek menggunakan alat pemilihan *Poligon*. Kawasan ini akan menjadi luas permukaan halia yang telah dikupas.



Data yang diperoleh daripada perisian *Image J* dipindahkan ke dalam *Microsoft Excel*. Jumlah luas kawasan pengupasan dikira berdasarkan nisbah kawasan yang dikupas berbanding dengan keseluruhan kawasan yang dianalisis.



Melalui fungsi *Set Measurements*, parameter pengukuran ditetapkan dengan mengukur keluasan kawasan (*area*), purata nilai keamatan kelabu (*mean gray value*), sisihan piawai (*standard deviation*) dan perimeter (*perimeter*)



Fungsi *Measure* digunakan untuk mendapatkan data kuantitatif kawasan yang dikupas



Peratus permukaan halia yang telah dikupas diperoleh menggunakan formula berikut:

$$\text{Peratus permukaan terkupas} = \frac{\text{Luas permukaan halia terkupas}}{\text{Luas permukaan keseluruhan halia}} \times 100$$

Carta alir 1. Kaedah analisis imej untuk menentukan luas kawasan halia yang telah dikupas menggunakan perisian Image J dan Microsoft Excel

Analisis statistik

Analisis statistik telah dijalankan menggunakan analisis varians satu hala (ANOVA) untuk menentukan sama ada tempoh pengupasan memberi kesan signifikan terhadap peratus pengupasan halia. Selepas keputusan ANOVA menunjukkan perbezaan yang signifikan ($p < 0.05$), ujian perbandingan berpasangan Tukey HSD (*Honest Significant Difference*) telah digunakan bagi mengenal pasti perbezaan min antara kumpulan (1, 3 dan 5 minit). Nilai signifikan ditetapkan pada aras $\alpha = 0.05$.

Nilai HSD dikira berdasarkan formula berikut:

$$HSD = q \times \sqrt{\frac{MSW}{n}} \quad (1)$$

Di mana:

q = statistik julat tersukukan (*studentised range*)

MSW = min kuasa dua dalam kumpulan (daripada jadual ANOVA)

n = saiz sampel atau min harmonik bagi saiz sampel setiap Kumpulan.

Penilaian kecekapan mesin pengupas mekanikal

Jadual 1 menunjukkan penilaian kecekapan selepas operasi pengupasan menggunakan mesin pengupas berus guling pada tempoh masa pengupasan berbeza. Masa pengupasan 1 minit mempunyai peratus perolehan yang tinggi ($93.4 \pm 2.60\%$) dan jumlah sisa yang rendah ($7.31 \pm 4.00\%$). Pola yang sama juga dapat dilihat pada masa tempoh pengupasan 3 dan 5 minit dengan peratus perolehan hasil berkurang apabila masa pengupasan meningkat. Jumlah sisa yang terhasil pula berkadar terus dengan masa pengupasan, bertambahnya masa pengupasan, maka bertambahlah sisa yang terhasil. Ini adalah dijangka kerana lebih banyak kulit yang telah dibuang menyebabkan sisa yang terhasil lebih tinggi dan berat akhir halia (peratus perolehan hasil) akan semakin berkurangan seiring dengan pertambahan masa pengupasan. Namun, kecekapan proses pengupasan adalah meningkat dengan bertambahnya masa pengupasan dengan kecekapan pada 5 minit merupakan yang tertinggi, sekitar $73.10 \pm 11.60\%$ dan kecekapan terendah pada 1 minit pengupasan iaitu $38.90 \pm 19.20\%$.

Jadual 1. Penilaian kecekapan mesin pengupasan halia pada masa pengupasan berbeza

Masa (min)	Peratus perolehan (%)	Sisa (%)	Kecekapan (%)
1	93.40 ± 2.60	7.31 ± 4.00	38.90 ± 19.20
3	81.10 ± 0.60	20.90 ± 5.40	65.20 ± 7.20
5	74.70 ± 1.30	23.20 ± 4.70	73.10 ± 11.60

Dalam setiap pemprosesan, antara matlamat utama adalah meningkatkan perolehan hasil sambil meminimumkan sisa tanpa mengabaikan kualiti dan keselamatan produk. Namun, sekiranya kualiti produk akhir masih tidak memenuhi keperluan pengguna, parameter proses perlu dioptimumkan bagi mencapai keseimbangan antara kuantiti dan kualiti. Bagi menilai tahap keberkesanan pengupasan yang dicapai, analisis imej menggunakan kolorimetri dan perisian *Image J* telah digunakan sebagai kaedah penilaian lanjut.

Penilaian secara visual menunjukkan pada 1 minit pengupasan, halia masih tidak dikupas sepenuhnya. Oleh itu, darjah pengupasan halia dinilai dengan menilai warna melalui kaedah kolorimetri menggunakan alat *colorimeter* seperti dalam Jadual 2. Perbandingan nilai parameter kroma menunjukkan tiada perbezaan yang ketara bagi semua masa pengupasan berbeza (nilai $p > 0.05$).

Jadual 2. Penilaian kecekapan mesin pengupasan halia pada masa pengupasan berbeza menggunakan analisis kolorimetri

Masa (min)	Parameter kroma		
	L	a*	b*
1	72.44 ± 1.73	-5.33 ± 0.58	33.89 ± 2.29
3	68.61 ± 0.23	-7.47 ± 0.02	29.59 ± 0.23
5	68.02 ± 0.55	-5.71 ± 0.22	26.45 ± 0.35

Analisis menggunakan perisian pengimejan seterusnya digunakan untuk mendapatkan maklumat tentang pengupasan kulit halia. *Jadual 3* menunjukkan perbandingan imej sebenar halia yang telah dikupas dengan imej pemprosesan bagi pengupasan halia selepas 1, 3 dan 5 minit menggunakan *Image J*. Melalui analisis pada imej binari, luas permukaan yang telah dikupas akan memberi warna merah manakala luas permukaan yang belum dikupas menunjukkan warna kelabu.

Keputusan ANOVA bagi analisis *Image J* menunjukkan bahawa tempoh pengupasan memberi kesan yang signifikan [$F(2, 116) = 76.73$, $p < 0.0001$] terhadap kadar pengupasan halia yang menunjukkan terdapat perbezaan min antara kumpulan. Ujian Tukey HSD seterusnya dijalankan untuk menentukan perbezaan khusus antara kumpulan. Hasil analisis menunjukkan bahawa peratus pengupasan bagi tempoh 1 minit (66.10%) adalah jauh lebih rendah berbanding dengan 3 minit (91.18%) dan 5 minit (94.75%), dengan perbezaan min masing-masing sebanyak 25.08 dan 28.66 yang melebihi nilai ambang HSD (5.94). Walau bagaimanapun, perbezaan antara 3 dan 5 minit (3.57%) adalah tidak signifikan, menandakan bahawa kebanyakan proses pengupasan berlaku dalam tempoh 3 minit pertama.

Analisis imej menunjukkan pada tempoh 1 minit pengupasan, $66.10 \pm 16.89\%$ kulit halia yang telah dikupas, manakala pada 3 minit masa pengupasan, $91.18 \pm 25.08\%$ kulit telah dikupas. Manakala, pengupasan kulit pada 5 minit masa pengupasan pula mendapati $94.75 \pm 28.66\%$ kulit halia telah berjaya dikupas. Ini menunjukkan, tempoh pengupasan selama 3 minit adalah mencukupi dan efisien, kerana secara statistiknya, tempoh yang lebih panjang tidak memberikan peningkatan ketara terhadap keberkesanan pengupasan. Sekiranya halia yang telah dikupas selama tiga minit diproses lanjut kepada partikel yang lebih kecil seperti proses pengisaran atau pencincangan, sisa kulit yang masih tertinggal akan tercincang dan tidak memberikan perubahan yang signifikan kepada warna produk akhir. Sebaliknya, bagi aplikasi yang memerlukan halia yang bebas sepenuhnya daripada kulit, tempoh masa pengupasan 5 minit adalah lebih sesuai. Oleh itu, pemilihan tempoh pengupasan yang optimum bergantung kepada tahap kebersihan kulit yang dikehendaki mengikut keperluan pengguna.

Analisis imej telah dilaporkan sebagai kaedah yang berkesan untuk menilai keberkesanan pengupasan. Aplikasi analisis imej telah digunakan pada mesin berus guling bagi mendapatkan nilai tahap pengupasan secara kuantitatif. Walau bagaimanapun, pendekatan ini

Jadual 3. Imej pemprosesan bagi pengupasan halia selepas 1, 3 dan 5 minit menggunakan *Image J* dengan contoh sampel

Sampel	Masa pengupasan		
	1 minit	3 minit	5 minit
Halia yang telah dikupas (RGB)			
Halia yang telah dianalisis menggunakan <i>Image J</i> (Binari)			
Purata kawasan permukaan yang telah dikupas (%)	66.10 ± 16.89%	91.18 ± 25.08%	94.75 ± 28.66%

tertumpu kepada penilaian terhadap mesin jenis berus guling yang didapati lebih sesuai digunakan untuk skala industri kecil kerana dapat mengurangkan satu unit operasi (pembersihan) selain dapat meminimumkan kehilangan semasa pengupasan.

Baris atas menunjukkan imej asal (RGB), baris tengah ialah imej binari selepas penukaran ambang dan baris bawah menunjukkan peratus kawasan pengupasan yang dikira berdasarkan analisis kawasan. Namun begitu, kajian terhadap reka bentuk mesin ini boleh ditambah baik supaya dapat memaksimumkan permukaan halia yang bersentuhan dengan permukaan lelas. Antara inovasi yang berpotensi adalah orientasi berus yang berbeza atau kaedah menggulingkan halia dengan bantuan bilah untuk meningkatkan kecekapan mesin pengupas. Penilaian lanjutan menggunakan analisis imej juga boleh diaplikasikan untuk membandingkan prestasi reka bentuk yang berbeza ini.

Penggunaan analisis imej juga boleh dijadikan sebagai pemantauan kualiti secara masa nyata dalam pemprosesan makanan sekiranya diintegrasikan dengan baik dalam aliran pemprosesan. Kaedah ini dapat menambah nilai automasi dalam kawalan pemprosesan.

Kesimpulan

Keputusan eksperimen menunjukkan bahawa masa pengupasan yang berbeza memberi kesan terhadap kecekapan pengupasan halia. Berdasarkan dapatan ini, dapatlah disimpulkan bahawa tempoh pengupasan selama 3 minit adalah mencukupi dan efisien, kerana tempoh yang lebih panjang tidak memberikan peningkatan ketara terhadap keberkesanan pengupasan. Keadaan ini juga akan memberi implikasi penting dalam pemprosesan halia berskala industri dari segi kos operasi selain dapat menjimatkan masa dan tenaga. Jumlah kehilangan yang tinggi pada masa pengupasan 5 minit (~23.20%) boleh dijadikan faktor tambahan sekiranya pengupasan pada skala industri dijalankan. Walau bagaimanapun, pemilihan tempoh pengupasan yang optimum bergantung kepada tahap kebersihan kulit yang dikehendaki mengikut keperluan pengguna. Kajian ini juga menunjukkan potensi teknologi pengimejan dalam mekanisasi lepas tuai khususnya untuk proses optimisasi dan kawalan kualiti. Penambahbaikan reka bentuk mesin serta aplikasi analisis imej wajar diteruskan dalam penyelidikan masa hadapan.

Bibliografi

- Amani, H., Badak-Kerti, K., & Mousavi Khaneghah, A. (2020). Current progress in the utilization of smartphone-based imaging for quality assessment of food products: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(13), 3631–3643.
- Emadi, B., Abbaspour-Fard M. H., & P. K. D. V., Y. (2008). Mechanical peeling of pumpkins. Part 1: Using an abrasive-cutter brush. *Journal of Food Engineering*, 89, 5.
- Fadeyibi, A., & Faith Ajao, O. (2020). Design and Performance Evaluation of a Multi-Tuber Peeling Machine. *AgriEngineering*, 2, 17.
- FAO. (11 Jun 2025). Ginger production in the Asia-Pacific region in 2023, by country or territory (in 1,000 metric tons) [Graf]. Dalam Statista. Diperoleh pada 28 September 2025 daripada <https://www.statista.com/statistics/679276/asia-pacific-ginger-production-by-country/>.
- Kate, A. E., & Sutar, P. P. (2018). Development and optimization of novel infrared dry peeling method for ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) rhizome. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 48, 11.
- Srikaeo, K., Khamphu, S., & Weerakul, K. (2011). Peeling of gingers as evaluated by image analysis techniques: A study for pickled ginger process. *International Food Research Journal*, 18(4), 1387.
- Tan, W. K., Husin, Z., Yasruddin, M. L. et al. Recent technology for food and beverage quality assessment: a review. *J Food Sci Technol.*, 60, 1681–1694 (2023).

Ringkasan

Halia merupakan rizom yang mempunyai bentuk tidak seragam sehingga menyukarkan pemprosesan pada skala yang besar. Kajian ini menilai kecekapan pengupasan mesin secara mekanikal menggunakan analisis imej. Pengupasan dijalankan menggunakan mesin pengupas jenis guling pada tiga tempoh pengupasan berbeza (1, 3 dan 5 minit). Analisis menunjukkan kecekapan pengupasan bertambah dengan tempoh masa pengupasan, walau bagaimanapun tiada perubahan ketara selepas 3 minit. Dapatan ini memberi pendekatan secara kuantitatif untuk menilai kecekapan mesin pengupasan dan menyokong optimisasi proses dalam pengendalian lepastuai menggunakan analisa pengimejan.

Summary

Ginger is a commonly processed rhizome with uneven shapes, leading to a challenge in peeling process especially in industrial operations. This study aimed to evaluate the efficiency of mechanical ginger peeling using image-based analysis. Peeling was conducted using a rotary brush-type peeler at three different durations (1, 3 and 5 minutes). The analysis indicated that peeling efficiency increased with time, but there was no significant improvement beyond 3 minutes. This method provides a practical and quantifiable approach to assess peeling performance and supports process optimisation in ginger postharvest handling using imaging analysis.

Pengarang

Sharifah Hafiza Mohd Ramli
Pusat Penyelidikan Kejuruteraan, Ibu Pejabat MARDI,
Persiaran MARDI-UPM, 43400 Serdang, Selangor
E-mel: shhafiza@mardi.gov.my

Saiful Azwan Azizan, Hasmin Hakim Hasbullah, Afiqah Aina Rahim, Masniza Sairi (Dr.),
Teoh Chin Chuang (Dr.), Ahmad Fadhlul Wafiq Abd Rahman, Mohd Hafiz Mohd Amin
Tawakkal, Faewati Abdul Karim, Mohd Zaimi Zainol Abidin, Muhammad Aliq Jamaluddin,
Sha'fie Alwi, Amirredzuan Shamsukamal, Mohd Azmirredzuan Sani dan Mohammad
Shukri Johari

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

Saiful Bahari Saari, Nurzam Ezdiani Che Husin (Dr.), Nur Ilida Mohamad (Dr.), Wan
Nurzahidah Wan Zainon, Sharizan Ahmad dan Mohd Fakhri Hashim
Pusat Penyelidikan Sains dan Teknologi Makanan,
Ibu Pejabat MARDI, Persiaran MARDI-UPM, 43400 Serdang, Selangor