

Kesan jarak mata pengisar koloid terhadap kualiti fizikal puri cili

(Effect of colloid grinder gap settings on the physical quality of chilli puree)

Ruwaida Abdul Wahid, Afiqah Aina Rahim, Sharifah Hafiza Mohd Ramli, Masniza Sairi, Faewati Abdul Karim, Ahmad Fadhlul Wafiq Abd Rahman, Sha'fie Bin Alwi, Mohd Hafiz Bin Mohamed Amin Tawakkal, Amir Redzuan Bin Shamsulkamal, Mohd Zaimi Bin Zainol Abidin, Muhammad Aliq Bin Jamaluddin, Mohd Azmirredzuan Bin Sani dan Teoh Chin Chuang

Kata kunci: puri cili, pengisar koloid, saiz zarah, kualiti fizikal puri, pemprosesan makanan

Pengenalan

Dalam pemprosesan makanan, terutamanya bagi penghasilan puri buah-buahan dan sayur-sayuran, saiz kisaran dan tekstur merupakan faktor utama yang menentukan kualiti produk akhir. Ciri-ciri fizikal ini mempengaruhi rasa di mulut, reologi (aliran), daya tarikan visual dan kestabilan produk. Saiz kisaran yang lebih halus menghasilkan tekstur yang lebih licin dan warna yang lebih cerah, manakala partikel yang lebih kasar boleh menyebabkan tekstur yang tidak sekata dan penerimaan pengguna yang rendah. Saiz partikel turut mempengaruhi keupayaan memegang air, pelepasan pigmen dan pengekstrakan pepejal larut yang menyumbang kepada parameter penting seperti pH, jumlah pepejal larut (TSS) dan kandungan lembapan. Kisaran yang lebih halus biasanya menyebabkan lebih banyak kerosakan sel, sekali gus membebaskan kandungan intrasel seperti asid, gula dan pigmen yang memberi kesan langsung kepada sifat fiziko-kimia dan sensori produk.

Industri makanan moden menggunakan pelbagai sistem pengisaran mekanikal untuk mencapai saiz partikel yang optimum dan kualiti produk yang diinginkan. Pengisar bilah dan pengisar koloid contohnya, menggunakan putaran berkelajuan tinggi untuk menghasilkan daya ricih yang memecahkan struktur sel. Peralatan yang lebih canggih seperti pengisar bebola atau *homogeniser* tekanan tinggi pula digunakan apabila partikel yang sangat halus diperlukan. Teknologi ini berbeza dari segi kecekapan tenaga, tekanan mekanikal dan kesesuaian bergantung kepada jenis makanan dan tahap kelembapan.

Walaupun banyak kajian telah dilakukan mengenai kesan umum pemprosesan mekanikal terhadap makanan, kesan khusus jarak mata pengisar dalam konfigurasi pengisaran, terutamanya terhadap kualiti puri cili masih kurang dikaji. Memahami kesan konfigurasi bilah pengisar terhadap sifat fiziko-kimia adalah amat penting dan perlu diambil kira dalam pengoptimuman kualiti produk. Maklumat ini dapat membantu pengusaha makanan menyesuaikan proses pengisaran bagi memastikan puri yang dihasilkan mempunyai tekstur yang seragam, warna yang menarik serta kestabilan produk yang lebih

baik. Penyesuaian ini juga membolehkan pengeluar memenuhi cita rasa pengguna dan keperluan pasaran yang semakin menitikberatkan kualiti dan konsistensi produk.

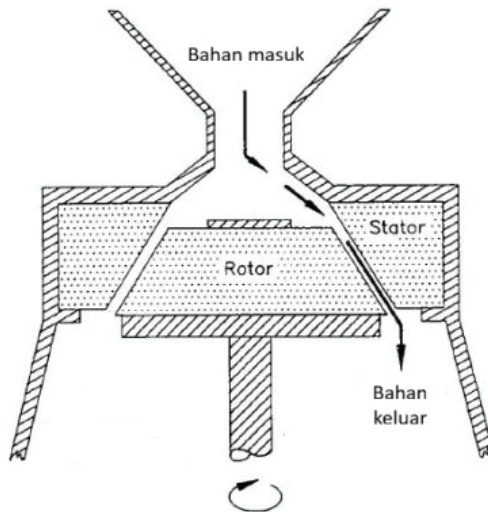
Sistem pengisaran mekanikal untuk penghasilan puri

Pelbagai sistem pengisaran mekanikal digunakan dalam industri makanan untuk mencapai saiz zarah yang dikehendaki. Pengisar bilah, bergantung pada putaran pisau berkelajuan tinggi untuk mericih dan memecahkan bahan makanan yang mana jurang bilah memainkan peranan penting dalam menentukan tekstur akhir bahan. Pengisar tukul (*hammer mill*), lebih sesuai untuk bahan kering atau berserabut yang menggunakan daya hentaman untuk memecahkan struktur bahan. Pengisaran yang lebih halus dan konsisten boleh diperolehi daripada pengisar koloid (*colloid mill*) dan pengisar cakera (*disc mill*) yang menggunakan mekanisme ricih dan mampatan yang kuat. Pengisar bola (*ball mill*) dan manik (*beads mill*) sesuai digunakan untuk memperoleh saiz zarah ultra-halus, terutamanya dalam pengeluaran bahan bersifat emulsi dan suspensi. *Homogeniser* tekanan tinggi, walaupun biasanya digunakan untuk cecair juga boleh mengurangkan saiz zarah dengan ketara melalui pergolakan dan peronggaan melampau. Setiap jenis sistem pengisar ini menawarkan kelebihan yang berbeza bergantung kepada bahan mentah dan kandungan lembapan yang digunakan, pemilihannya bergantung kepada ciri produk akhir yang dikehendaki.

Teknologi pengisar bilah, cakera dan koloid telah lama digunakan dalam industri pemprosesan makanan, namun kajian kesan jarak jurang bilah/mata pengisar, terutamanya dalam pengeluaran puri cili berskala kecil atau separa industri, masih kurang diterokai. Kajian terdahulu telah menunjukkan bahawa teknik pemprosesan seperti homogenisasi dan pengisaran boleh mempengaruhi sifat fiziko-kimia puri dan jus. Walau bagaimanapun, tetapan mekanikal tertentu seperti jarak jurang bilah pengisar sering diabaikan, tetapi ia mempunyai potensi untuk mempengaruhi parameter seperti pH, kandungan lembapan dan kestabilan warna.

Bagi mesin pengisar koloid, jarak antara mata pengisar yang merujuk kepada jurang antara rotor dan stator (*Gambar rajah 1*), memainkan peranan yang amat penting dalam menentukan saiz akhir zarah yang dihasilkan. Jurang ini biasanya dilaras bergantung kepada jenis bahan dan tahap kehalusan yang dikehendaki dalam produk akhir. Apabila jurang dirapatkan (semakin kecil), bahan dipaksa melalui ruang yang lebih sempit yang membawa kepada daya ricih, pengisaran dan hentaman yang lebih kuat pada bahan. Sebaliknya, jurang yang lebih besar mengurangkan daya ricih, menghasilkan produk yang lebih kasar dan kurang seragam dengan zarah yang lebih besar. Oleh itu, pemilihan dan pelarasan jurang mata pengisar koloid adalah aspek penting yang boleh mempengaruhi hasil akhir puri cili.

Kajian ini dijalankan untuk menentukan kesan jarak jurang mata pengisar koloid terhadap ciri fizikal puri cili. Parameter yang dianalisis ialah pH, TSS, kandungan lembapan, nilai warna (L^* , a^* , b^*) dan taburan saiz zarah. Dengan mewujudkan hubungan antara konfigurasi bilah dan kualiti puri, penyelidikan ini dapat memberikan



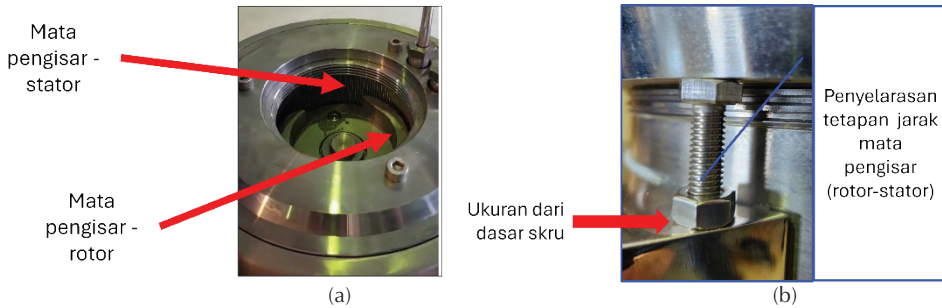
(Sumber: Colloid Mill For Juice or Milk Production - IBC MACHINE)

Gambar rajah 1. Rajah skematik yang menunjukkan kedudukan rotor dan stator dalam ruang pengisar koloid

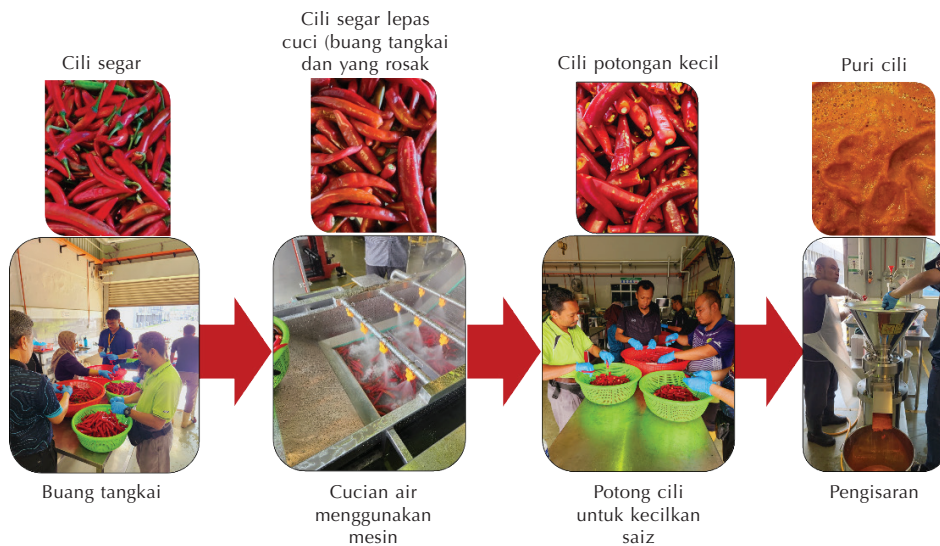
panduan praktikal untuk mengoptimumkan operasi pengisaran agar dapat meningkatkan kualiti puri untuk pemprosesan secara industri dan separa industri.

Proses penghasilan puri cili

Cili segar yang digunakan ialah cili kulai gred A (*Capsicum annum* L. var. *Kulai*) yang diperolehi terus daripada peladang tempatan. Tangkai cili dibuang secara manual dan kemudian dibasuh dengan teliti di bawah air yang mengalir menggunakan mesin pembasuh sayuran berterusan untuk menghilangkan kotoran. Kemudian cili dipotong kepada saiz lebih kecil bagi memudahkan proses pengisaran. Cili dikisar tanpa penambahan air menggunakan mesin pengisar koloid (Model 130, China) dengan pelarasan jarak jurang antara mata pengisar rotor dan stator [*Gambar 1(a)*]. Proses pengisaran diulang berdasarkan empat tetapan jurang yang berbeza [*Gambar 1(b)*] bermula daripada tetapan minimum dengan setiap tetapan bertambah sebanyak 2 mm (T1, T2, T3, T4). *Carta alir 1* menunjukkan aliran pemprosesan untuk menghasilkan puri cili.



Gambar 1. Mata pengisar koloid. (a) Kedudukan rotor dan stator dan (b) Skru untuk penyelarasan tetapan jarak mata pengisar



Carta alir 1. Pemprosesan puri cili

Kaedah analisis ciri fizikal puri cili

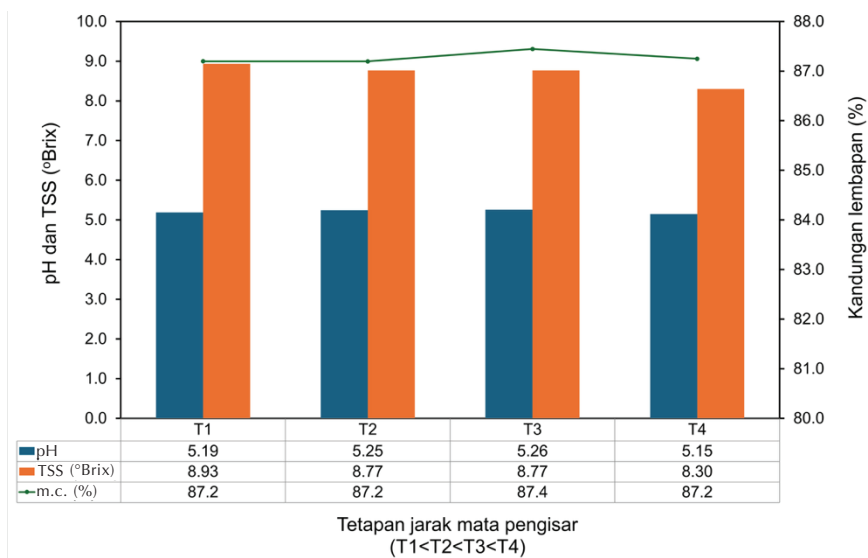
Kandungan lembapan puri cili ditentukan menggunakan penganalisis kelembapan halogen (Mettler Toledo HX 204, Columbus, OH). Warna puri cili diukur menggunakan *colorimeter* (Konica Minolta Chroma Meter CR-400, Jepun) yang mengukur warna berdasarkan tiga koordinat iaitu L* (kecerahan), a* (hijau-merah) dan b* (biru-kuning). Pengukuran TSS menunjukkan kandungan gula dan tahap kemanisan keseluruhan puri cili. TSS ditentukan pada suhu bilik menggunakan refraktometer digital dan dinyatakan sebagai °Brix. Nilai pH puri cili diukur pada suhu bilik menggunakan meter pH digital (Mettler Toledo, Columbus, OH). Taburan saiz zarah puri cili ditentukan menggunakan penganalisis saiz zarah (Mastersizer 3000, Malvern Panalytical Ltd., United Kingdom).

Kesan jarak mata pengisar kepada ciri fizikal puri cili

Kesan kepada pH, TSS dan kandungan lembapan

Kesan perubahan tetapan jarak jurang mata pengisar daripada T1 ke T4 (T1 adalah jurang terkecil dan T4 yang paling besar) memberi kesan kepada tiga parameter utama dalam puri, iaitu tahap keasidan (pH), TSS (dalam °Brix) dan kandungan air (lembapan). *Rajah 1* menunjukkan kesan perubahan tetapan jarak mata pengisar kepada tiga parameter tersebut.

Bagi pH, keputusan menunjukkan perubahan yang sangat kecil antara setiap tetapan jarak jurang mata pengisar. Nilai pH hanya berubah sedikit dan ini menunjukkan bahawa jarak jurang mata pengisar tidak mempengaruhi tahap keasidan dalam puri cili secara ketara. Oleh itu, sama ada jarak jurang mata pengisar rapat atau renggang, pH puri cili kekal hampir sama. Nilai TSS pula menunjukkan perbezaan yang lebih ketara dengan penurunan sebanyak 7.6% daripada T1 kepada T4. TSS paling tinggi, 8.93 °Brix diperoleh apabila bilah pengisar paling rapat (T1) dan semakin berkurang kepada 8.30 °Brix apabila jurang bilah makin besar (T4). Ini bermakna, bila bahan dikisar lebih halus, lebih banyak gula atau bahan larut dapat dikeluarkan daripada bahan tersebut. Jadi, pengisaran halus lebih berkesan untuk hasilkan puri yang lebih pekat atau manis. Kandungan lembapan pula tidak banyak berubah antara tetapan tersebut. Semua tetapan menunjukkan nilai lembapan sekitar 87.2 – 87.4% yang sangat sedikit perbezaannya iaitu 0.2% sahaja. Ini menunjukkan bahawa pengisaran, sama ada halus atau kasar tidak memberi kesan besar kepada jumlah air dalam puri.

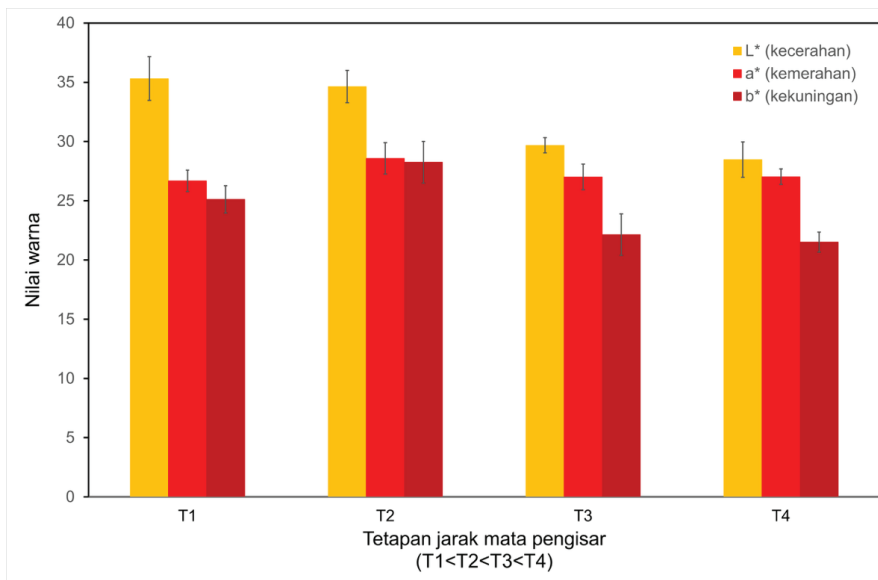


Rajah 1. Kesan tetapan jarak mata pengisar terhadap pH, jumlah pepejal terlarut (TSS) dan kadar lembapan (mc) puri cili yang dihasilkan

Kesan kepada warna

Rajah 2 menunjukkan bagaimana warna puri cili berubah mengikut tetapan jarak mata pengisar (daripada T1 ke T4). Warna ini diukur menggunakan tiga jenis nilai: L^* (kecerahan), a^* (kemerahan) dan b^* (kekuningan). Secara umum, apabila jarak mata pengisar semakin besar ($T1 \rightarrow T4$), warna puri menjadi semakin gelap yang ditunjukkan oleh nilai L^* yang semakin menurun. Pada T1, nilai L^* adalah yang tertinggi, menunjukkan warna puri yang paling cerah. Pada T4, nilai L^* menjadi lebih rendah, menunjukkan puri menjadi lebih gelap. Ini memberi petunjuk bahawa pengisaran yang lebih halus (jurang kecil) menghasilkan bahan yang lebih cerah. Dari segi kemerahan (a^*), kita dapat lihat bahawa nilai a^* yang tertinggi adalah pada T2, bermaksud pada tetapan ini puri yang dihasilkan adalah paling merah. Namun, perbezaan nilai a^* antara T2, T3 dan T4 tidak begitu ketara, menunjukkan warna kemerahan kekal konsisten. T1 pula mencatatkan kemerahan paling rendah sedikit berbanding dengan yang lain. Bagi kekuningan (b^*), pola yang lebih jelas dapat diperhatikan yang mana nilai b^* tertinggi dicatatkan pada T2, diikuti oleh T1. Selepas itu, nilai ini menurun pada T3 dan terus berkurang pada T4. Ini menunjukkan bahawa puri yang dihasilkan menjadi kurang kuning apabila pengisar digunakan dengan jarak tetapan mata pengisar yang lebih besar, iaitu apabila bahan dikisar lebih kasar.

Secara keseluruhannya, bahan yang dikisar dengan tetapan T1 dan T2 kelihatan lebih menarik dari segi warna iaitu lebih cerah, merah dan kuning. Sebaliknya, pengisaran kasar (T3 dan T4) menghasilkan warna yang lebih gelap dan pudar. Ini memberi gambaran bahawa untuk mendapatkan bahan dengan warna yang lebih segar dan menarik secara visual, pengisaran halus adalah lebih sesuai.



Rajah 2. Kesan tetapan jarak mata pengisar terhadap warna puri cili: perbandingan nilai L^* (kecerahan), a^* (kemerahan) dan b^* (kekuningan)

Kesan kepada taburan saiz partikel

Dalam kajian ini, saiz zarah bahan yang dikisar diukur untuk melihat bagaimana ia berubah apabila jarak mata pengisar diubah. Terdapat beberapa jenis ukuran saiz zarah yang digunakan, termasuk purata saiz berdasarkan permukaan, D[3,2] (mewakili zarah halus) dan isi padu, D[4,3] (mewakili zarah kasar). Nilai peratusan seperti Dv10, Dv50 (median) dan Dv90 pula mewakili taburan saiz zarah pada peratusan ke 10, 50 dan 90 daripada jumlah zarah. Selain itu, satu ukuran yang dipanggil *span* digunakan untuk menunjukkan sejauh mana saiz zarah itu seragam. Semakin kecil nilai *span*, semakin seragam saiz zarahnya.

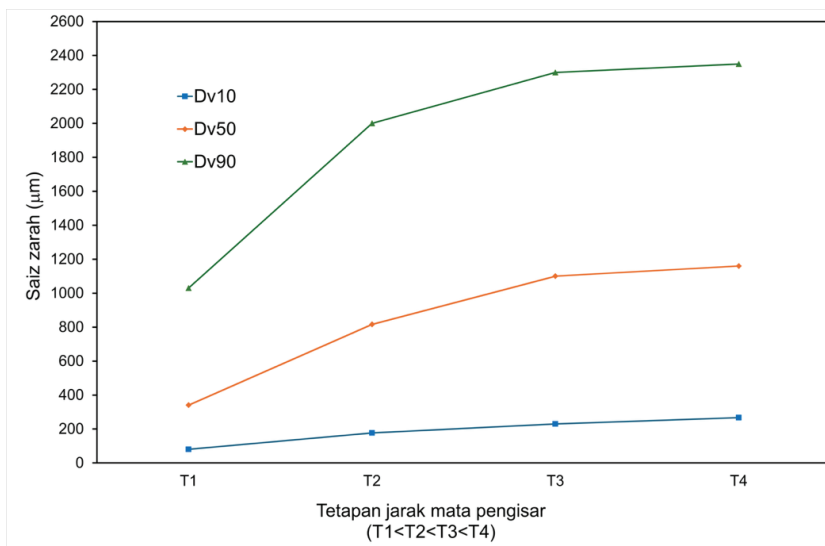
Merujuk kepada *Jadual 1* dan *Rajah 3*, jelas bahawa cili yang diproses dengan tetapan T1 (mata pengisar paling rapat) menghasilkan zarah yang paling halus. Purata saiz zarah di T1 adalah yang paling kecil, manakala nilai *span* pula yang paling tinggi. Ini menunjukkan bahawa walaupun zarahnya kecil, saiznya sangat pelbagai, ada yang sangat halus dan ada juga yang lebih kasar sedikit. Jadi, bahan pada T1 tidak begitu seragam dari segi saiz zarahnya.

Apabila jarak pengisar dibesarkan (daripada T2 hingga ke T4), saiz zarah menjadi semakin besar. Saiz purata zarah pada T4 lebih dua kali ganda berbanding dengan T1. Namun begitu, *span* menjadi semakin kecil. Ini bermaksud, walaupun zarah lebih besar, ia lebih seragam, iaitu saiznya lebih sekata antara satu sama lain. Dengan kata lain, bahan pada T4 lebih kasar, tetapi lebih konsisten dari segi saiz.

Secara keseluruhan, semakin besar jurang mata pengisar, semakin besar saiz zarah yang dihasilkan dan semakin sekata. Sebaliknya, apabila pengisaran dilakukan secara halus (T1), ia menghasilkan zarah kecil tetapi tidak seragam. Jadi, pemilihan tetapan pengisar bergantung kepada tujuan pemprosesan, sama ada untuk menghasilkan bahan yang lebih halus, tetapi taburan saiz yang pelbagai atau lebih kasar tetapi seragam.

Jadual 1. Taburan saiz zarah puri cili mengikut tetapan jarak mata pengisar

Tetapan jarak mata pengisar	Saiz zarah (mm)					Span
	D[3,2]	D[4,3]	Dv10	Dv50	Dv90	
T1	104	468	80	341	1030	2.775
T2	186	969	177	816	2000	2.229
T3	189	1200	230	1100	2300	1.874
T4	215	1250	267	1160	2350	1.789



Rajah 3. Kesan tetapan jarak mata pengisar terhadap saiz zarah puri cili yang dihasilkan

Kesimpulan

Kajian ini menunjukkan bahawa jarak mata pengisar memainkan peranan penting dalam menentukan ciri fizikal puri cili. Tetapan bilah yang lebih rapat menghasilkan puri dengan nilai TSS yang lebih tinggi, warna yang lebih cerah dan menarik serta saiz zarah yang lebih halus. Namun begitu, saiz zarah ini kurang seragam. Sebaliknya, apabila jarak mata pengisar lebih besar, puri yang dihasilkan mempunyai saiz zarah yang lebih kasar, tetapi lebih seragam dengan penurunan kecerahan dan ketepuan warna. Nilai pH dan kandungan lembapan tidak banyak terkesan oleh perubahan tetapan ini. Secara keseluruhan, pengisaran halus dengan jarak pengisar yang kecil adalah lebih sesuai untuk menghasilkan puri cili yang lebih baik dari segi kepekatan dan visual. Penemuan ini boleh dijadikan panduan praktikal dalam mengoptimumkan operasi pengisaran, terutamanya dalam memproses berskala kecil dan sederhana.

Penghargaan

Penulis merakamkan setinggi-tinggi penghargaan kepada MARDI atas pembiayaan kajian ini melalui dana Projek Pembangunan (P-RM-521) yang disalurkan oleh Kementerian Pertanian dan Keterjaminan Makanan (KPKM), juga kepada kakitangan Pusat Penyelidikan Kejuruteraan, MARDI Serdang atas sumbangan secara langsung dan tidak langsung dalam menjayakan penyelidikan ini.

Bibliografi

- Adejugbe, I. T., Olowonubi, J. A., Olorunsola, I. T., Oyegunwa, O. A., Ayeni, J. O., Komolafe, O., & Ogunkoya, A. K. (2023). Development of a Low-Cost Hammer Mill Machine for Food Processing. *Physical Science International Journal*, 27(3), 16–26. Diperoleh dari <https://doi.org/10.9734/PSIJ/2023/V27I3792>.
- Gao, W., Chen, F., Wang, X., & Meng, Q. (2020). Recent advances in processing food powders by using superfine grinding techniques: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19(4), 2222–2255. Diperoleh dari <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12580>.
- Karam, M. C., Petit, J., Zimmer, D., Baudelaire Djantou, E., & Scher, J. (2016). Effects of drying and grinding in production of fruit and vegetable powders: A review. *Journal of Food Engineering*, 188, 32–49. Diperoleh dari <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2016.05.001>.
- Ma, Y., Zhang, J., He, J., Xu, Y., & Guo, X. (2023). Effects of high-pressure homogenization on the physicochemical, foaming, and emulsifying properties of chickpea protein. *Food Research International*, 170, 112986. Diperoleh dari <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2023.112986>.
- Montalescot, V., Rinaldi, T., Touchard, R., Jubeau, S., Frappart, M., Jaouen, P., Bourseau, P., & Marchal, L. (2015). Optimization of bead milling parameters for the cell disruption of microalgae: Process modeling and application to *Porphyridium cruentum* and *Nannochloropsis oculata*. *Bioresource Technology*, 196, 339–346. Diperoleh dari <https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2015.07.075>.
- Postma, P. R., Miron, T. L., Olivieri, G., Barbosa, M. J., Wijffels, R. H., & Eppink, M. H. M. (2015). Mild disintegration of the green microalgae *Chlorella vulgaris* using bead milling. *Bioresource Technology*, 184, 297–304. Diperoleh dari <https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2014.09.033>.
- Vishwanathan, K. H., Singh, V., & Subramanian, R. (2011). Wet grinding characteristics of soybean for soymilk extraction. *Journal of Food Engineering*, 106(1), 28–34. Diperoleh dari <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2011.04.002>.
- Wang, Z., Yu, X., Zhao, W., Wang, Y., Li, S., Yu, C., & Dong, X. (2023). 3D printability of sturgeon paste as affected by colloid milling. *Journal of Food Engineering*, 346, 111429. Diperoleh dari <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2023.111429>.
- Xu, J., Mukherjee, D., & Chang, S. K. C. (2018). Physicochemical properties and storage stability of soybean protein nanoemulsions prepared by ultra-high pressure homogenization. *Food Chemistry*, 240, 1005–1013. Diperoleh dari <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2017.07.077>.
- Zhang, A., Wang, L., Song, T., Yu, H., Wang, X., & Zhao, X. huai. (2022). Effects of high pressure homogenization on the structural and emulsifying properties of a vegetable protein: *Cyperus esculentus* L. *LWT*, 153, 112542. Diperoleh dari <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2021.112542>.

Ringkasan

Artikel ini membincangkan kesan tetapan jarak mata pengisar terhadap kualiti fizikal puri cili, khususnya dari segi pH, jumlah pepejal larut (TSS), kandungan lembapan, warna dan saiz zarah. Puri cili dihasilkan menggunakan pengisar koloid dengan empat tetapan jarak mata pengisar (T1 – T4), bermula dari yang paling kecil (T1) ke yang paling besar (T4). Kajian ini bertujuan untuk menilai bagaimana perubahan jarak bilah ini mempengaruhi ciri-ciri utama puri. Hasil kajian menunjukkan bahawa TSS paling tinggi diperoleh pada tetapan T1 yang menunjukkan pengisaran halus meningkatkan pelepasan bahan larut seperti gula. Warna puri juga lebih cerah dan menarik pada tetapan T1 dan T2. Sebaliknya, apabila pengisaran dilakukan dengan jurang yang lebih besar (T3 dan T4), puri menjadi lebih gelap dan kurang menarik secara visual. Dari segi saiz zarah, T1 menghasilkan zarah yang paling halus, tetapi kurang seragam, manakala T4 menghasilkan zarah lebih kasar tetapi lebih seragam. Nilai pH dan kandungan lembapan pula tidak menunjukkan perbezaan ketara antara tetapan, menunjukkan ia tidak terlalu terpengaruh oleh saiz pengisaran. Kesimpulannya, pengisaran halus menggunakan jarak mata pengisar yang kecil adalah lebih sesuai untuk menghasilkan puri cili dengan kepekatan tinggi, warna menarik dan kualiti keseluruhan yang lebih baik. Kajian ini penting sebagai rujukan untuk pengusaha industri kecil dan sederhana dalam memilih tetapan pengisaran yang optimum.

Summary

This article discusses the effects of grinder blade gap settings on the physical quality of chilli puree, focusing on parameters such as pH, total soluble solids (TSS), moisture content, colour and particle size. The chilli puree was produced using a colloid mill with four different blade gap settings (T1 – T4), ranging from the smallest (T1) to the widest (T4). The objective was to evaluate how these variations influence the key physical attributes of the puree. The results showed that the highest TSS value was achieved at T1, indicating that finer grinding promotes the release of more soluble compounds like sugars. The puree also exhibited brighter and more attractive colour at T1 and T2. In contrast, coarser grinding at wider blade settings (T3 and T4) resulted in darker and less visually appealing puree. In terms of particle size, T1 produced the finest particles but with less uniformity, while T4 yielded larger yet more consistent particles. Both pH and moisture content remained relatively stable across all settings, suggesting minimal impact from blade gap variations. In conclusion, fine grinding with narrow blade gaps (T1 – T2) is more suitable for producing chilli puree with higher concentration, better colour and overall improved quality. This study provides practical insights for small- and medium-scale food processors in selecting optimal grinding conditions for chilli puree production.

Pengarang

Ruwaida Abdul Wahid

Pusat Penyelidikan Kejuruteraan, Ibu Pejabat MARDI

Persiaran MARDI-UPM, 43400 Serdang, Selangor

E-mel: ruwaida@mardi.gov.my

Afiqah Aina Rahim, Sharifah Hafiza Mohd Ramli, Masniza Sairi (Dr.), Faewati Abdul Karim, Ahmad Fadhlul Wafiq Abd Rahman, Sha'fie Alwi, Mohd Hafiz Mohamed Amin Tawakkal, Amir Redzuan Shamsulkamal, Mohd Zaimi Zainol Abidin, Muhammad Aliq Jamaluddin, Mohd Azmirredzuan Sani dan Teoh Chin Chuang (Dr.)

Pusat Penyelidikan Kejuruteraan, Ibu Pejabat MARDI

Persiaran MARDI-UPM, 43400 Serdang, Selangor