

Teknologi penyejukbekuan ulas nangka untuk pasaran eksport

(Freezing technology of jackfruit bulbs for the export market)

Joanna Cho Lee Ying, Nur Azlin Razali, Wan Mohd Reza Ikhwan Wan Hussin, Suhana Safari, Roslina Ali, Siti Nurathirah Abdul Hassan, Khairunizah Hazila Khalid dan Koh Soo Peng

Kata kunci: *blast freezing*, kriogenik, nangka, pemprosesan minimum, tekstur, cecair nitrogen

Pengenalan

Nangka (*Artocarpus heterophyllus*) merupakan salah satu buah tropika yang bernilai tinggi dan berpotensi besar untuk pasaran eksport. Saiz pasaran nangka global dianggarkan mencecah USD359.1 juta pada tahun 2025, dengan kadar pertumbuhan tahunan kompaun (CAGR) sebanyak 3.3% bagi tempoh 2021 – 2025. Nilai eksport nangka pada tahun 2023 dianggarkan bernilai RM15 juta dan dijangka akan meningkat kepada RM22.1 juta pada tahun 2025. Aliran positif ini mencerminkan permintaan yang semakin meningkat, sekali gus membuka peluang baharu dalam pasaran tempatan dan antarabangsa. Varieti nangka J33 atau lebih dikenali sebagai nangka madu ataupun Tekam Yellow menjadi ikonik, dihargai kerana kemanisannya, teksturnya yang rangup dan berkualiti premium menjadikannya pilihan utama untuk pasaran eksport yang bernilai tinggi. Penggunaan teknologi pembekuan sejuk seperti kriogenik, membolehkan eksport ke pasaran lebih jauh yang mana teknologi ini berupaya mengekalkan kualiti dan memanjangkan jangka hayat produk. Pengenalan durian sejuk beku ke China pada tahun 2018 telah membuka peluang baharu untuk pasaran eksport buah tropika selain durian dalam bentuk sejuk beku.

Walau bagaimanapun, pengeksportan nangka segar, sama ada dalam bentuk sebiji (*whole fruit*) atau diproses secara minimum, masih terhad untuk penghantaran ke negara luar dengan tempoh pengedaran tidak melebihi dua minggu disebabkan jangka hayat yang pendek. Di samping itu, saiz buah nangka sangat besar yang boleh mencecah 30 kg atau lebih, turut memberi kesan ketara terhadap kos dan logistik. Masalah 'karat' pada isi ulas nangka yang tidak dapat dikesan dari luaran kulit buah nangka dan ketidakseragaman pemasakan buah, yang juga tidak dapat dikenal pasti secara luaran, menjadi cabaran utama dalam pengeksportan nangka segar ke pasaran antarabangsa. Oleh itu, teknologi penyejukbekuan dalam bentuk ulas dijangka dapat memanjangkan jangka hayat nangka sehingga enam bulan atau lebih, menjadikannya lebih sesuai untuk penghantaran jarak jauh tanpa menjejaskan kualiti buah sepanjang proses pengedaran dan penyimpanan.

Teknologi penyejukbekuan kriogenik yang menggunakan nitrogen cecair (*liquid nitrogen*) dalam tempoh masa yang singkat menghasilkan hablur ais bersaiz kecil, dapat mengurangkan kerosakan pada struktur sel buah berbanding dengan kaedah sejuk beku konvensional (*blast freezing*). Tempoh penyimpanan yang lebih lama membolehkan produk ulas nangka sejuk beku dipasarkan ke destinasi luar negara yang lebih jauh, mengurangkan kehilangan hasil selepas tuai, serta menangani isu lambakan dalam industri nangka. Dengan memanfaatkan kelebihan teknologi penyejukbekuan, pengeluar nangka berpeluang meneroka pasaran baharu dengan produk ulas nangka sejuk beku yang berkualiti tinggi, berkhasiat dan sedia dimakan untuk pasaran antarabangsa. Justeru, kajian ini dilaksanakan bagi membangunkan pakej teknologi penyejukbekuan nangka dalam bentuk ulas untuk diguna pakai oleh industri yang berkaitan. Pembangunan teknologi ini adalah bermula dari ladang (bagi memastikan kualiti buah dan ulas nangka sentiasa terjamin) sehinggalah sampai ke pengguna.

Pembangunan pakej teknologi penyejukbekuan nangka dalam bentuk ulas

Pengendalian lepas tuai nangka dari ladang sehingga ke rumah pembungkusan

Pengiraan tempoh kematangan buah nangka J33 dikenal pasti bermula selepas seminggu peringkat pendebungaan dan berjaya menghasilkan buah dengan saiz sepanjang 15 – 20 cm. Buah yang telah dikenal pasti akan dibungkus dengan plastik guni yang mempunyai ruang pengudaraan yang sesuai dan tempoh permulaan pembungkusan tersebut diguna pakai untuk mengukur hari penuaian. Untuk pemprosesan minimum, buah nangka J33 berkualiti baik (bebas daripada penyakit/kerosakan) boleh dituai pada hari 90 – 95 hari selepas hari pembungkusan.

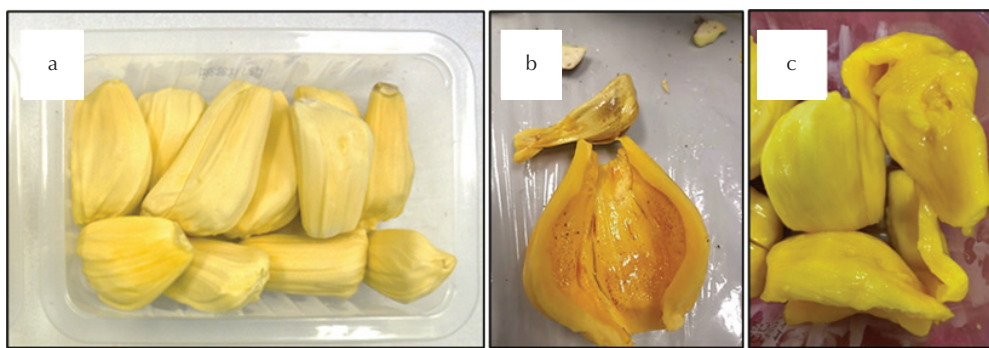
Buah nangka yang telah dituai dibasuh dengan air bersih mengalir untuk membuang kotoran, habuk dan serangga koya. Selepas itu, buah nangka dibersihkan dengan air klorin (*sodium dichloroisocyanurate*) pada kepekatan 200 ppm (*parts per million*) selama 1 minit. Permukaan kulit dan celah tangkai boleh dibersihkan dengan menggunakan berus lembut ataupun span lembut. Selepas proses sanitasi seperti di atas, buah nangka J33 perlu dikeringkan sebelum disimpan untuk proses seterusnya.

Buah nangka J33 yang belum mencapai tahap kemasakan optimum boleh diaruh menggunakan gas etilena (200 ppm) di bilik pemeraman pada suhu persekitaran 25 – 27 °C selama 24 jam. Selepas pemeraman, buah nangka perlu dikeluarkan dari bilik pemeraman dan dibiarkan masak di bilik lain pada suhu persekitaran yang sama. Buah nangka J33 yang telah diaruh akan mulai masak dalam tempoh dua hari (pengeluaran aroma buah nangka wangi) pada suhu persekitaran 25 – 27 °C. Buah nangka yang telah masak boleh disimpan pada suhu 10 °C selama sehari untuk melambatkan pengaliran getah dan mengekalkan kualiti nangka dalam keadaan sejuk sebelum diproses minimum.

Proses penyejukbekuan nangka dalam bentuk ulas

Pengasingan ulas

Warna, tekstur dan kadar kemanisan ulas nangka J33 merupakan penentu utama kualiti produk sejuk beku semasa penyimpanan dan selepas dinyahbeku. Ulas nangka yang dipilih perlu mencapai kadar kemanisan sekurang-kurangnya 25 ± 2 °Brix, mempunyai isi ulas yang tebal dan mempunyai ketegaran 2 ± 1 Newton serta berwarna kuning menarik. Biji dalam ulas nangka dikekalkan untuk mengekalkan bentuk dan memberi struktur ulas yang kukuh selepas penyejukbekuan. Ulas nangka yang mempunyai simptom 'karat', kurang masak (ulas berwarna putih dan mempunyai rasa kanji) dan terlampau masak (ulas lembik dan berair) diasingkan daripada pemilihan ulas yang elok semasa pengasingan ulas (*Gambar 1*).



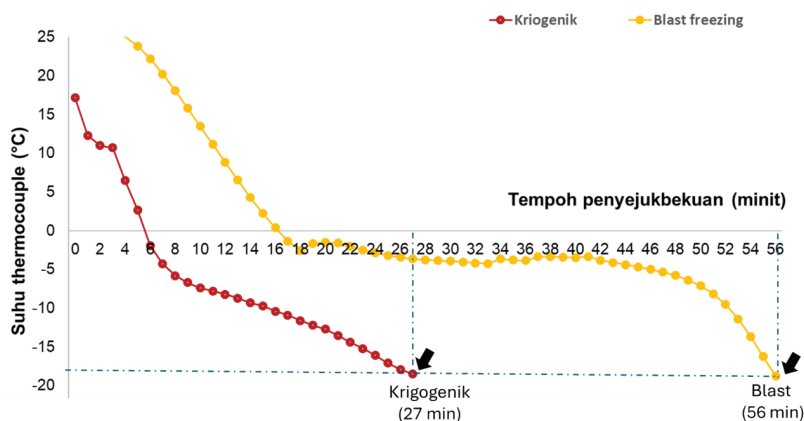
Gambar 1. Ciri-ciri ulas nangka yang tidak diterima. (a) Ulas nangka daripada nangka yang tidak masak mempunyai warna kuning pucat, kurang manis dan mempunyai rasa kanji (b) Simptom 'karat' pada ulas nangka dan (c) Nangka yang terlampau masak, berair dan lembik

Penyejukbekuan ulas nangka

Untuk tempoh penyimpanan yang lebih panjang, suhu penyejukbekuan yang disyorkan adalah serendah -18 °C dan ke bawah untuk merencat pertumbuhan mikroorganisma dan memperlahankan kemerosotan kualiti produk semasa penyimpanan. Oleh itu, untuk teknik penyejukbekuan, suhu teras ulas nangka perlu mencapai sekurang-kurangnya -18 °C dan ke bawah atas faktor keselamatan untuk penyimpanan yang lebih lama. Prob termometer dimasukkan sehingga ke dalam teras ulas nangka untuk tujuan pemantauan suhu supaya proses penyejukbekuan mencapai sehingga -18 °C.

Dalam kajian ini, dua kaedah sejuk beku digunakan untuk perbandingan dan mengenal pasti kaedah terbaik dan terantas di samping dapat mengekalkan kualiti ulas nangka iaitu *blast freezing* dan kriogenik. *Blast freezing* menggunakan udara sejuk yang ditiupkan dengan kuat ke permukaan produk pada suhu sekitar -20 °C hingga -50 °C. Kelajuan pembekuan kaedah ini adalah lebih lambat berbanding dengan penyejukbekuan kriogenik yang menggunakan cecair nitrogen. Selain itu, penyejukbekuan kriogenik menghasilkan hablur ais kristal yang lebih halus kerana kelajuan pembekuan menggunakan nitrogen cecair pada suhu sekitar -70 °C hingga 100 °C.

Berdasarkan kajian yang telah dijalankan, masa diambil untuk suhu operasi kebeku penyejukbekuan kriogenik yang ditetapkan pada suhu -40°C mengambil masa 27 minit manakala untuk *blast freezing* mengambil selama 56 minit untuk mencapai suhu -18°C dalam teras ulas nangka (*Rajah 1*). Penyejukbekuan menggunakan kaedah kriogenik lebih disyorkan dengan mengambil kira masa operasi yang lebih pendek dan kualiti ulas nangka yang lebih terjamin (untuk simpanan enam bulan ke atas).



Rajah 1. Tempoh penyejukbekuan blast freezing (56 min) dan kriogenik (27 min) sehingga suhu teras ulas nangka sejuk beku mencapai -18°C

Hasil penyelidikan yang dijalankan menunjukkan teknologi sejuk beku dalam bentuk ulas nangka menggunakan kaedah *blast freezing* dan kriogenik boleh disimpan selama enam bulan tanpa menjejaskan kualiti terutamanya pada jumlah pepejal terlarut (%), asid tertitrat (%) dan kandungan vitamin C (*Jadual 1*) kecuali tekstur. Ulas nangka sejuk beku secara kriogenik mempunyai tekstur yang lebih baik disebabkan penghasilan hablur ais kristal yang lebih halus berbanding dengan *blast freezing* dan mengurangkan kecederaan sel selepas dinyahbeku.

Penyimpanan

Ulas nangka yang telah menjalani proses sejuk beku perlu dibungkus menggunakan plastik nilon berketebalan 0.1 mm dan divakum dengan kadar segera. Plastik nilon merupakan bahan pembungkusan yang tahan penyimpanan sejuk beku untuk tempoh yang panjang. Kaedah vakum yang dijalankan untuk menjaga struktur ulas nangka agar lebih tegar semasa penyimpanan. Selain itu, pembungkusan menggunakan kaedah vakum mengurangkan kesan pengoksidaan pada ulas nangka sejuk beku. Berat pek ulas nangka yang disejuk beku yang disyorkan ialah 500 g dengan anggaran 12 ulas bersama biji. *Rajah 2* menunjukkan carta alir teknologi penyejukbekuan nangka menggunakan kaedah kriogenik dalam bentuk ulas.

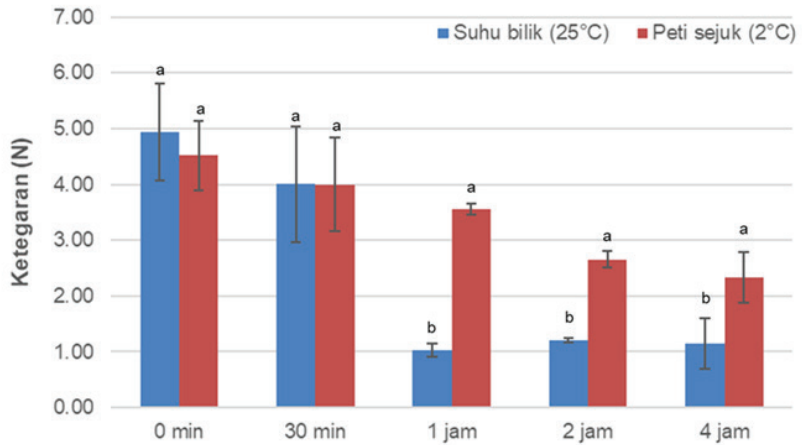
Jadual 1. Kualiti nangka sejuk beku menggunakan kaedah penyejukbekuan *blast freezing* dan kriogenik pada tempoh penyimpanan selama sembilan bulan

Kaedah penyejukbekuan	Tempoh penyimpanan (bulan)			
	0	3	6	9
Jumlah pepejal terlarut (%)				
<i>Blast freezing</i>	27.41a	27.23a	26.55a	27.38a
Kriogenik	27.41a	26.77a	27.53a	26.87a
Jumlah asid tertitrat (%)				
<i>Blast freezing</i>	0.35a	0.33a	0.37a	0.36a
Kriogenik	0.34a	0.40a	0.37a	0.32a
Kandungan vitamin C (mg/100 g)				
<i>Blast freezing</i>	2.58a	3.17a	3.33a	3.51a
Kriogenik	2.58a	3.02a	3.53a	3.20a
Ketegaran (Newton)				
<i>Blast freezing</i>	1.53a	1.73a	1.57a	0.98b
Kriogenik	1.53a	2.03a	1.65a	1.68a

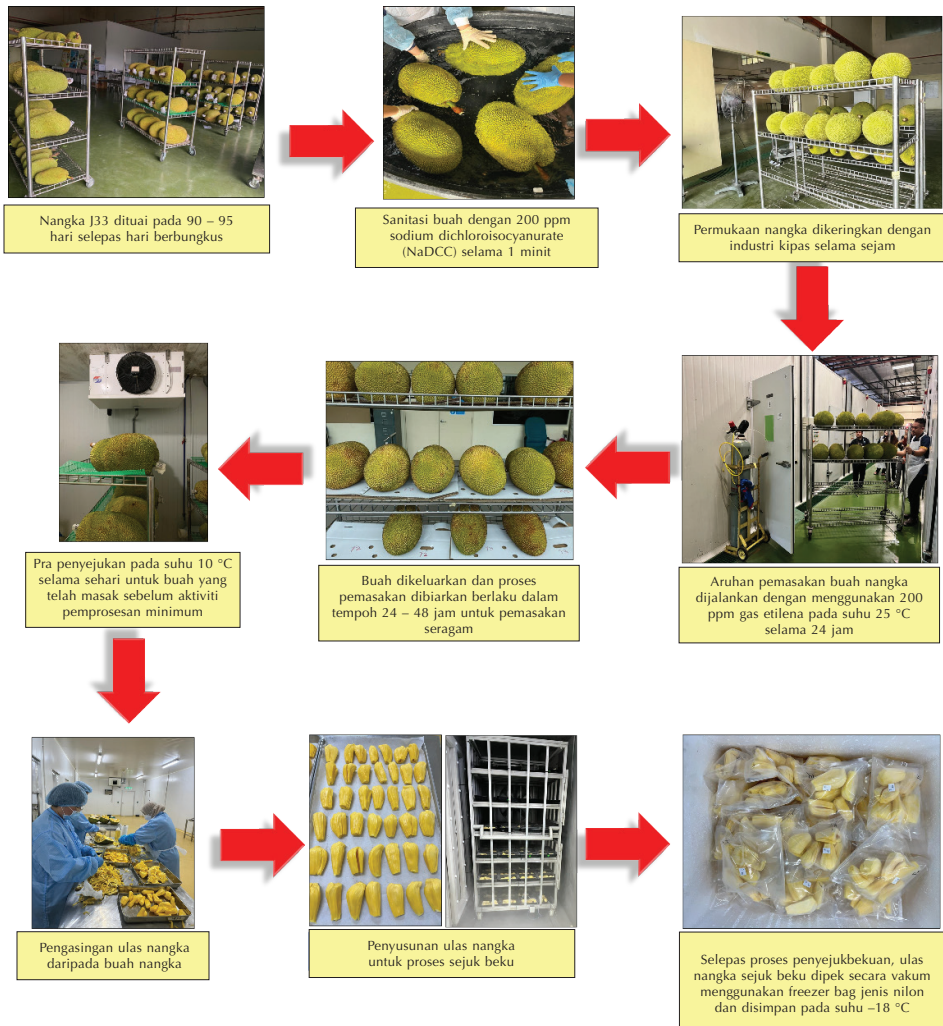
Abjad huruf kecil yang sama pada kolom yang sama tidak menunjukkan perbezaan signifikan pada $p < 0.05$ dengan menggunakan Ujian Duncan's Multiple Range Test (DMRT)

Menurut standard antarabangsa, rantaian sejuk merupakan satu siri aktiviti pengeluaran, penyimpanan dan pengedaran yang dijalankan dalam suhu sejuk secara berterusan bersama dengan peralatan dan logistik yang berkaitan dengan mengekalkan julat suhu rendah bagi memastikan keterjaminan kualiti dan keselamatan produk. Oleh itu, rantaian sejuk untuk produk ulas nangka sejuk beku perlu dikekalkan pada suhu -18°C daripada pemprosesan sehinggalah ke tangan pengguna.

Berbeza dengan buah segar, tekstur produk yang telah disejuk beku akan menjadi lebih lembut dan berair selepas dinyahbeku. Selain itu, pemerosotan kualiti dari segi tekstur dan rasa serta pencemaran mikrob akan berlaku dengan cepat jika dibiarkan lama pada suhu bilik. Berdasarkan kaedah penyahbekuan ulas nangka sejuk beku yang telah dijalankan pada suhu bilik ($25 - 27^{\circ}\text{C}$) dan peti sejuk ($2 - 4^{\circ}\text{C}$), teknik penyahbekuan pada suhu sejuk (2°C) mempunyai tekstur ulas yang lebih baik berbanding dengan penyahbekuan pada suhu bilik (*Carta alir 1*). Untuk kualiti makan terbaik, produk ulas nangka sejuk beku disyorkan dimakan dalam tempoh kurang satu jam selepas dinyahbeku pada suhu $2 - 4^{\circ}\text{C}$.



Rajah 2. Penurunan nilai ketegaran isi ulas nangka sejuk beku semasa penyahbekuan pada suhu bilik (25 – 27 °C) dan peti sejuk (2 – 4 °C)



Carta alir 1. Teknologi penyejukbekuan nangka dalam bentuk ulas

Pengiraan ekonomi

Dengan kapasiti pengeluaran sebanyak 34,560 kg setahun dan harga jualan anggaran sebanyak RM11.45 untuk setiap 500 g, analisis kewangan menunjukkan pengeluaran nangka ulas sejuk beku adalah berdaya maju dengan nilai Kadar Pulangan Dalam 55 – 60%, jangkaan tempoh pulang modal antara 2.2 – 2.4 tahun dan Nilai Kini Bersih (NPV) yang positif (*Jadual 2*).

Analisis kewangan menunjukkan pengeluaran nangka ulas sejuk beku adalah berdaya maju dengan nilai Kadar Pulangan Dalam 55%, jangkaan tempoh pulang modal antara 2.2 tahun dan Nilai Kini Bersih (NPV) yang positif. Dengan menggunakan fasiliti kriogenik yang sedia ada, pelaburan teknologi ulas nangka sejuk beku berpotensi untuk dikomersialkan secara meluas.

Jadual 2. Analisis daya maju nangka ulas sejuk beku

Parameter	Ulas nangka kriogenik
Kapasiti/pengeluaran ulas nangka	
Kos pengeluaran (500 g per pek)	RM11.40
Harga minimum	RM13.45
Nilai Kini Bersih (NPV)	RM2.5 juta
Kadar Pulangan Dalam (IRR)	55%
Pulangan Pelaburan (ROI)	61%
Tempoh Pulang Modal	2.2 tahun
Nisbah Kos Faedah (BCR)	RM1.61

Kesimpulan

Penggunaan teknologi penyejukbekuan kriogenik menggunakan cecair nitrogen dalam ulas nangka membawa revolusi dalam industri pemprosesan buah tropika, membuka peluang luas untuk pasaran eksport ke negara yang lebih jauh. Dengan kadar sejuk pembekuan pantas pada suhu negatif (–70 °C hingga –100 °C), teknologi ini berupaya mengekalkan tekstur, warna dan rasa asli ulas nangka secara optimum, memastikan produk mencapai standard premium yang diperlukan oleh pasaran global. Berbeza dengan kaedah pembekuan konvensional yang menggunakan *blast freezing*, penyejukbekuan kriogenik dapat menghalang pembentukan kristal ais bersaiz besar yang boleh merosakkan struktur sel, dapat mengekalkan ketegaran dan kesegaran buah apabila dinyahbeku. Tambahan pula, pembekuan kriogenik memanjangkan jangka hayat produk sehingga 6 – 9 bulan, membolehkan pengeksport menggunakan kaedah penghantaran laut yang jauh lebih murah dan lestari berbanding dengan penghantaran udara. Ini bukan sahaja mengurangkan kos logistik sebanyak 80 – 90%, malah menurunkan jejak karbon sehingga 90%, sejajar dengan agenda kemampanan dan Matlamat Pembangunan Mampan (SDG).

Secara keseluruhannya, teknologi penyejukbekuan kriogenik bagi ular nangka bukan sahaja mengurangkan kerugian selepas tuai (akibat lebih hasil atau ketidakseimbangan permintaan), malah meningkatkan fleksibiliti eksport, mengekalkan kualiti premium, serta mengukuhkan kedudukan Malaysia dalam pasaran buah tropika sejuk beku global yang bernilai tinggi.

Penghargaan

Penyelidikan ini adalah di bawah geran Projek Kolaborasi MARDI-FAMA (K-RH276-1001-KSR999). Penghargaan diberikan kepada semua staf Program Pengendalian Lepas Tuai (HR4), Pusat Penyelidikan Hortikultur terutamanya Pn. Nur Izzati Muhsin dan En. Mohamad Abhar Akmal Hamid atas komitmen dan kerjasama yang diberikan dalam menjayakan penyelidikan ini.

Bibliografi

- Codex Alimentarius Commission. (1994). Code of Practice for the Processing and Handling of Quick Frozen Foods (CAC/RCP 8-1976). *Codex Alimentarius*, 5, 451–468.
- Cho, J. L. Y., Siti Aisyah, A., Suhana, Y., & Suhana, S. (2023). Teknik baharu pengendalian lepas tuai nangka J33 (Tekam Yellow) menggunakan penyimpanan suhu sejuk suboptimal. *Buletin Teknologi MARDI*, Bil., 38, 167–177.
- Razali, N. A., Wan Ibrahim, W. M., Abdullah, S. A., Safari, S., & Mustaffa, R. (2020). Pakej teknologi bagi pengeksportan durian sejuk beku dalam bentuk biji menggunakan kaedah pembekuan kriogenik. *Buletin Teknologi MARDI*, Bil. 22, 157–167.
- Roslina, A., Safari, S., Hassan, S. N. A., Razali, N. A., & Cho, J. L. Y. (2022). Kajian penerimaan pengguna dan potensi pasaran nangka sejuk beku kriogenik. *Economic and Technology Management Review*, 20, 173–195.
- The Star. Jackfruit exports can reach RM22mil, says deputy minister. Laman web diakses pada 18 September 2023. Diperoleh dari <https://www.thestar.com.my/news/nation/2023/09/18/jackfruit-exports-can-reach-rm22mil-says-deputy-minister>.
- U.S. Food and Drug Administration. Are you storing food safely? Laman web diakses pada 18 January 2023. Diperoleh dari <https://www.fda.gov/consumers/consumer-updates/are-you-storing-food-safely#:~:text=Keep%20your%20appliances%20at%20the,temperatures%20and%20are%20generally%20inexpensive>.

Ringkasan

Pengeksportan nangka segar dalam bentuk sebiji dan diproses secara minimum terhad untuk pasaran ke negara di mana tempoh pengedaran tidak melebihi dua minggu. Selain itu, saiz buah nangka yang sangat besar boleh mencecah sehingga 30 kg juga memainkan peranan yang penting dalam pengiraan kos logistik semasa penghantaran. Ulas nangka mengalami isu 'karat' dan ketidakseragam pemasakan buah yang tidak dapat dikesan dari luaran merupakan masalah utama yang perlu dihadapi untuk pengeksportan buah nangka segar ke pasaran antarabangsa. Teknologi penyejukbekuan nangka dalam bentuk ulas menggunakan kaedah kriogenik lebih sesuai untuk penghantaran jarak jauh tanpa menjejaskan kualiti buah selama enam bulan ke atas. Tempoh penyimpanan yang lama membolehkan produk ulas nangka sejuk beku dipasarkan di pasaran yang lebih jauh dan mengurangkan kehilangan lepas tuai serta masalah lambakan nangka. Dengan memanfaatkan kelebihan teknologi penyejukbekuan, pengeluar nangka boleh menerokai pasaran baharu untuk produk ulas nangka sejuk beku yang berkualiti tinggi, berkhasiat dan sedia dimakan sesuai untuk pasaran antarabangsa.

Summary

Due to the short shelf life of jackfruit, the exportation of fresh and minimally processed jackfruit is usually limited to countries within two weeks of distribution. In addition, the large size of jackfruit, which can reach up to 30 kg, also plays an important role in calculating logistics costs. Frozen products can be stored for an extended period compared to fresh fruits, thus making them more suitable for long-distance shipping without compromising quality during transit and storage. Undetected internal quality issues such as rust and uneven fruit ripening are issues that must be faced when exporting fresh jackfruit to the international market. The freezing of jackfruit in minimally processed form is projected to be stored more than six months, making it more suited for long-distance shipment without compromising fruit quality during distribution and storage to be marketed in more distant markets and reducing post-harvest losses and waste created in the fresh fruit industry. By leveraging the advantages of freezing technology, jackfruit producers can tap into new markets with superior quality, nutritious, and ready-to-eat frozen jackfruit bulbs that are suitable for international market distribution.

Pengarang

Joanna Cho Lee Ying, Nur Azlin Razali dan Wan Mohd Reza Ikhwan Wan Hussin
Pusat Penyelidikan Hortikultur, Ibu Pejabat MARDI
Persiaran MARDI-UPM, 43400 Serdang, Selangor
E-mel: joanna@mardi.gov.my

Suhana Safari, Roslina Ali (Dr.) dan Siti Nurathirah Abdul Hassan
Pusat Penyelidikan Sosio Ekonomi, Risiko Pasaran dan Agribisnis
Ibu Pejabat MARDI, Persiaran MARDI-UPM, 43400 Serdang, Selangor

Khairunizah Hazila Khalid (Dr.) dan Koh Soo Peng (Dr.)
Pusat Penyelidikan Sains dan Teknologi Makanan
Ibu Pejabat MARDI, Persiaran MARDI-UPM, 43400 Serdang, Selangor