

Kesan Kitosan Tersinar sebagai Salutan Luaran Buah Nanas (The Effect of Irradiated Chitosan as an External Coating for Pineapple Fruit)

IYLIA MAISARAH ZAINI^{1,2}, NORSYAHIDAH MOHD HIDZIR^{1,2,*}, RATNA SUFFHIYANNI OMAR^{1,2}, SYAZWANI
MOHD FADZIL^{1,2} & MOHD IDZAT IDRIS^{1,2}

¹*Nuclear Technology Research Centre, Faculty of Science and Technology, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600
UKM Bangi, Selangor, Malaysia*

²*Department of Applied Physics, Faculty of Science and Technology, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600
UKM Bangi, Selangor, Malaysia*

Diserahkan: 7 Februari 2025/Diterima: 11 Julai 2025

ABSTRAK

Malaysia mempunyai kawasan penanaman nanas yang luas, menyumbang kepada 1.06% daripada pengeluaran nanas dunia. Jenis nanas MD2 adalah yang paling popular di Malaysia kerana kemanisan dan ciri menariknya. Namun, kerugian selepas tuaian, disebabkan oleh serangan mikrob dan perubahan iklim, boleh merencatkan pertumbuhan industri ini. Semburan kimia sintetik sering digunakan untuk melindungi nanas, tetapi ia berbahaya kepada pengguna. Oleh itu, salutan boleh dimakan berasaskan kitosan, yang mempunyai sifat antimikrob dan antioksidan, dianggap sebagai alternatif yang terbaik. Kajian ini dijalankan untuk mengkaji kesan salutan kitosan yang disinari ke atas jangka hayat buah nanas. Larutan kitosan yang tidak disinari dan disinari (dos 10 - 30 kGy) digunakan untuk menyalut bahagian luar buah nanas melalui teknik salutan semburan. Kesan fizikal dan kimia diuji termasuk pengukuran perubahan berat, skala warna dan keperangan, nilai pH dan kandungan gula buah nanas sepanjang 30 hari penyimpanan. Hasil kajian mendapati salutan kitosan yang disinarkan berkesan dalam memanjangkan jangka hayat buah nanas serta dapat menjaga kualiti buah nanas. Buah nanas yang disalut kitosan menunjukkan perubahan peningkatan indeks warna yang perlahan dan tiada kesan keperangan pada isi buah (kekalkan pada skala 0) berbanding dengan kawalan (skala 3). Nilai pH pula didapati berada pada julat 3.4 hingga 5.8. Untuk semua nanas yang disalut kitosan yang disinari, terdapat peningkatan ketara dalam kandungan gula semasa penyimpanan, terutamanya bagi dos 15 kGy (15.8%). Kesimpulannya, penggunaan salutan kitosan tersinar boleh memanjangkan jangka hayat serta dapat menjaga kualiti buah nanas.

Kata kunci: Nanas; sinaran; kitosan; jangka-hayat

ABSTRACT

Malaysia has a large pineapple cultivation area, contributing 1.06% of the world's pineapple production. The MD2 pineapple variety is the most popular in Malaysia due to its sweetness and attractive characteristics. However, post-harvest losses, due to microbial attack and climate change, can hinder the growth of this industry. Synthetic chemical sprays are often used to protect pineapples, but they are harmful to consumers. Therefore, chitosan-based edible coatings, which have antimicrobial and antioxidant properties, are considered a good alternative. This study was conducted to investigate the effect of irradiated chitosan coatings on the shelf-life of pineapple. Non-irradiated and irradiated chitosan solutions (dose 10-30 kGy) were used to coat the outer surface of pineapple via spray coating technique. The physical and chemical effects were tested including measurement of weight change, color and browning scale, pH value and sugar content of pineapple over 30 days of storage. The results of the study found that irradiated chitosan coating was effective in extending the shelf-life and maintaining the quality of pineapples. Pineapples coated with chitosan showed a slow increase in color index, and no browning effect on the fruit flesh (remained at scale 0) compared to the control (scale 3). The pH-value was found to be in the range of 3.4 to 5.8. For all irradiated chitosan-coated pineapples, there was a significant increase in sugar content during storage, especially for the 15 kGy dose (15.8%). In conclusion, the used of irradiated chitosan coating can extend the shelf-life and maintain the quality of pineapples.

Keywords: Pineapple; radiation; chitosan; shelf-life

PENGENALAN

Malaysia mempunyai sektor penanaman nanas yang besar, menyumbang 1.06% daripada pengeluaran nanas global.

Nanas memainkan peranan penting dalam sektor pertanian dan eksport negara. Industri nanas mewujudkan banyak peluang pekerjaan untuk petani dan pekerja yang terlibat di

sektor perkilangan seperti pemprosesan makanan. Pelbagai produk nilai tambah diperoleh daripada pemprosesan nanas, termasuk jus, jem, produk dalam tin dan makanan ringan. Nanas juga merupakan sumber vitamin C yang penting untuk memerangi jangkitan. Di Malaysia, nanas digabungkan ke dalam pelbagai hidangan tempatan seperti paji nanas dan jus nanas.

Malaysia terkenal dalam penghasilan buah nanas yang berkualiti dengan warna kuning keemasan. Buah nanas yang ditanam di Malaysia mempunyai ciri-ciri yang berlainan daripada pesaing dari negara luar dan ianya berpotensi bagi meningkatkan kualitinya (LPNM, 2019). Namun, buah nanas merupakan salah satu buah yang cepat rosak dan kebanyakannya disebabkan oleh jangka hayat buah nanas yang rendah. Menurut Mohd Ali et al. (2022) (Ali, Hashim, Abd Aziz, & Lasekan, 2022), jangka hayat buah nanas yang disimpan pada suhu 10°C hanya dapat bertahan dalam tempoh 14 hari. Tambahan lagi, penggunaan berlebihan semburan bahan kimia pada buah nanas bagi mengekalkan kualiti buah nanas selepas tuai juga merupakan salah satu sebab buah nanas rosak dengan mudah (Proshad et al., 2018).

Bagi memanjangkan jangka hayat dan juga mengekalkan kualiti, buah nanas perlu dirawat sebelum proses pengendalian, pengangkutan dan pengedaran. Proses pra- dan pasca-tuai yang baik penting dalam mengekalkan kualiti buah (Mat Jusoh, Ding, & Yeat, 2020). Kaedah popular untuk mengelakkan buah-buahan masak dengan cepat adalah dengan menggunakan salutan yang boleh dimakan (Senna, Al-Sahmrani, & Al-Arafi, 2014). Salutan luaran pada buah mempunyai fungsi yang penting dalam mengekalkan kualiti dan kesegarannya. Salah satu peranan utama salutan ialah mengurangkan kehilangan air dengan mengurangkan kadar penyejatan air. Di samping itu, salutan luar bertindak sebagai pelindung yang menghalang pertumbuhan mikroorganisma, justeru menghalang kerosakan buah dengan cepat. Ia juga memperlambatkan proses masak dengan mengurangkan kadar pertukaran gas, termasuk oksigen dan karbon dioksida. Selain itu, buah bersalut kelihatan lebih segar, meningkatkan nilai pasaran dan daya saingnya. Dalam kajian ini, kitosan digunakan sebagai salutan luaran buah nanas. Kitosan ialah polisakarida linear yang boleh diakses secara komersial yang dihasilkan daripada kitin iaitu komponen utama cengkerang krustasea. Kitosan juga boleh memanjangkan jangka hayat, menghalang perkembangan kulat, dan mengurangkan kerosakan tanpa mempengaruhi ciri-ciri masak buah (Kumar, Muzzarelli, Muzzarelli, Sashiwa, & Domb, 2004).

Teknik penyinaran gama terhadap kitosan dilakukan bagi memastikan salutan kitosan ini lebih efektif. Degradasi kepada rangkaian polimer kitosan menggunakan teknik penyinaran gamma adalah pendekatan terkini yang dilaporkan (Marianti, Anggraito, & Christijanti, 2020). Kajian-kajian lepas menunjukkan sinaran gama dapat meningkatkan kadar degradasi kitosan, seterusnya

mengurangkan kelikatan dan berat molekul (Marianti et al., 2020) (Mahmud, Talip, Yacob, & Idris, 2023). Kajian yang dilakukan oleh Marianti et al. (2020) (Marianti et al., 2020) menunjukkan sinaran gama mengurangkan kelikatan kitosan dan berat molekul secara dos-kebergantungan, di mana pengurangan ini disebabkan oleh degradasi polimer pada rangkaian kitosan melalui mekanisme pemutusan ikatan menjadikan rantai kitosan lebih pendek. Kelikatan spesifik awal serta berat molekul menurun daripada 4.98 n, 2.1×10^5 kDa (0 kGy) kepada 2.09 n, 5.72×10^4 kDa (150 kGy) (Marianti et al., 2020). Hasil kajian Mahmud et al. (2023) (Mahmud et al., 2023) mendapati penyinaran gama (25 - 100 kGy) terhadap kitosan menyebabkan keamatan puncak ikatan glikosidik (C-O-C) pada 1020 cm^{-1} dalam FTIR menurun, menunjukkan bahawa pemutusan ikatan glikosidik berlaku yang menyebabkan rangkaian kitosan yang lebih pendek. Dalam kajian tersebut, salutan kitosan tersinar mendorong pertumbuhan mulberry dan meningkatkan pengeluaran hasil (Mahmud et al., 2023). Abbasi et al. (2009) melaporkan kitosan yang disinari (200 kGy) berkesan dalam memanjangkan jangka hayat buah mangga dengan kualiti pemakanannya sehingga 4 minggu penyimpanan berbanding kawalan (Abbasi, Iqbal, Maqbool, & Hafiz, 2009). Tambahan lagi, hanya 6.9% buah-buahan yang disalut dengan kitosan tersinar didapati dijangkiti penyakit buah berbanding 13.3% dalam kawalan selepas 2 minggu penyimpanan (Abbasi et al., 2009). Kajian oleh Dotto et al. (2015) (Dotto, Vieira, & Pinto, 2015) membandingkan perbezaan berat kitosan iaitu 150 kDa dan 300 kDa bagi salutan buah betik. Dalam kajian tersebut kitosan dengan berat 150 kDa dapat memanjangkan jangka hayat buah betik selama 4 – 7 hari pada suhu bilik dan mengurangkan bakteria seperti mesofilik dan yis. Terkini, kajian berkaitan formulasi nanokomposit berasaskan kitosan dengan penambahan eugenol dan gel aloe vera sebagai agen antioksidan, antibakteria dan antikulat dilaporkan oleh Basumatary et al. (2022) (Basumatary, Mukherjee, Katiyar, Dutta, & Kumar, 2022). Salutan yang terhasil dapat mengekalkan kualiti dan memanjangkan jangka hayat buah nanas sehingga tiga minggu di dalam keadaan persekitaran biasa.

Teknik sinaran gama terhadap kitosan sebagai salutan luaran buah nanas berpotensi diaplikasikan dalam industri makanan negara. Sinaran tidak meninggalkan kesan radioaktif terhadap makanan, justeru tiada pencemaran radioaktif yang boleh membawa kepada sentimen penolakan oleh pengguna. Di Malaysia, penggunaan salutan kitosan sebagai salutan luaran buah nanas masih kurang diaplikasikan serta diselidiki. Berdasarkan kajian-kajian yang telah dilaporkan di luar negara penggunaan kitosan yang tersinar sebagai salutan luaran pada buah-buahan berpotensi meningkatkan daya tahan dan kekuatan kulit buah, serta meminimumkan pertumbuhan mikrob dan serangan serangga. Sehingga ke hari ini, tempoh pemanjangan buah nanas yang direkodkan adalah selama hanya dua minggu iaitu dalam keadaan penyimpanan pada

suhu sejuk, dan tiga minggu dengan salutan berasaskan kitosan dengan penambahan eugenol dan gel aloe vera. Justeru, dalam kajian ini, kesan salutan kitosan yang disinarkan terhadap tempoh pemanjangan buah nanas jenis MD2 dikaji dan diperincikan dari aspek fizikal dan kimia. Beberapa dos sinaran gama digunakan bagi larutan kitosan iaitu 10 - 30 kGy. Ciri-ciri fizikal dan kimia diperhatikan dan dianalisis sepanjang 30 hari terhadap buah nanas kawalan, buah nanas yang disalut kitosan yang tidak disinarkan dan buah nanas yang disalut kitosan yang disinarkan. Ciri-ciri fizikal yang dikaji ialah perubahan warna, peratus penurunan berat dan indeks keperangan dalaman pada buah nanas. Manakala, ciri-ciri kimia pula adalah kandungan gula dan nilai pH pada buah nanas.

BAHAN DAN KAEDAH KAJIAN

Sebanyak 42 biji buah nanas jenis MD2 yang baru lepas dituai diperolehi dari sebuah ladang nanas di Semenyih, Selangor. Serbuk kitosan diperolehi daripada Xi'an Lanshan Biotechnology Co., Ltd (China), dan asetik asid daripada R&M Chemicals.

Penyediaan larutan kitosan 1 L 2% dilakukan berdasarkan kaedah oleh (Tanasale, Bijang, & Rumpakwara, 2019) yang telah diubahsuai iaitu dengan melarutkan 20 g serbuk kitosan ke dalam 980 ml asid asetik 2%. Seterusnya, 500 ml larutan natrium hidroksida (NaOH) 0.4 M dicampur dalam larutan kitosan 1 L 2%. Larutan ini dikacau menggunakan pengacau magnet selama 24 jam. Penyinaran larutan kitosan menggunakan Sel Gama 220 Excel (MDS Nordion) dilakukan pada dos 10, 15, 20, 25, dan 30 kGy dengan kadar dos kobalt-60 iaitu 0.5664 kGy/jam. Buah nanas yang telah dibersihkan seterusnya disembur dengan larutan kitosan yang disinari dan tidak disinari (0 kGy). Buah nanas tanpa salutan kitosan dijadikan sebagai kawalan. Selepas selesai semburan, buah nanas dikeringkan dan disimpan di dalam makmal sepanjang 30 hari tempoh penyimpanan pada suhu bilik ($29 \pm 1^\circ\text{C}$).

Bagi melihat skala kematangan pada buah nanas, penentuan warna kulit buah telah dilakukan. Perubahan warna kulit buah nanas ditentukan berdasarkan pemerhatian sepanjang tempoh penyimpanan 30 hari. Parameter ini ditentukan dengan melihat dan mengira mata kulit buah nanas serta dibandingkan dengan indeks kematangan warna yang telah dikeluarkan oleh Lembaga Pemasaran Pertanian Persekutuan (FAMA) (FAMA, 2025). Perubahan warna kulit nanas boleh dikelaskan kepada tujuh peringkat skala. Kulit akan bermula dari warna hijau pucat dan beransur-ansur bertukar warna jingga atau warna kekuningan apabila masak (FAMA, 2025).

Skala keperangan dalaman bagi sampel buah nanas seterusnya dinilai setelah buah nanas dipotong mengikut prosedur yang diterangkan oleh (Munera, Rodriguez-Ortega, Cubero, Aleixos, & Blasco, 2025). Skala keperangan ini dikategorikan dengan skala 0 - 5

berdasarkan peratusan keperangan dalaman pada isi buah iaitu (0 bagi tiada keperangan), 1 - 5 bagi masing-masing < 10%, 10-25%, 25-50%, 50-75% dan >75% keperangan dalaman pada isi buah (Basumatary et al., 2022).

Peratus penurunan berat buah nanas ditentukan bagi melihat perubahan kandungan air yang terdapat dalam buah. Kesegaran buah nanas amat bergantung kepada kandungan air dalam buah. Alat penimbang elektronik berjenama UWA AccuTEC digunakan untuk melihat perubahan berat pada buah nanas setiap hari sepanjang tempoh penyimpanan. Peratusan penurunan berat buah ditentukan menggunakan kaedah pengiraan 1. Penimbang elektronik ini ditentu ukur terlebih dahulu sebelum buah nanas ditimbang bagi mendapatkan bacaan berat yang tepat.

$$\text{Penurunan berat \%} = \frac{\text{berat awal (kg)} - \text{berat akhir (kg)}}{\text{berat awal (kg)}} \times 100 \quad (1)$$

Pengukuran tahap kemanisan buah nanas dilakukan dengan mengukur peratus kandungan gula yang terdapat dalam buah menggunakan alat refraktometer brix jenama ATAGO, 0.53%. Refraktometer digital dikalibrasi terlebih dahulu dengan air suling (dengan bacaan menunjukkan 0° Brix) (Jaywant, Singh, & Arif, 2022). Penggunaan peratusan (%) brix adalah skala untuk mengukur kepekatan kandungan gula dan kemanisan buah-buahan di dalam bentuk cecair. Parameter ini diukur pada setiap kumpulan buah nanas pada hari ke-1, 10, 20 dan 30 dalam tempoh kajian dijalankan. Kandungan gula adalah berkait rapat dengan keasidan iaitu nilai pH. Isi buah nanas dijadikan ke dalam bentuk cecair dan kemudiannya dititikan di atas plat refraktometer bagi mendapatkan skala peratusan brix. Refraktometer ini berfungsi seperti prisma, ia bertindak balas secara berbeza kepada cahaya iaitu dengan memberi bacaan pada skala bergantung kepada jumlah gula yang didapati dalam sampel cecair.

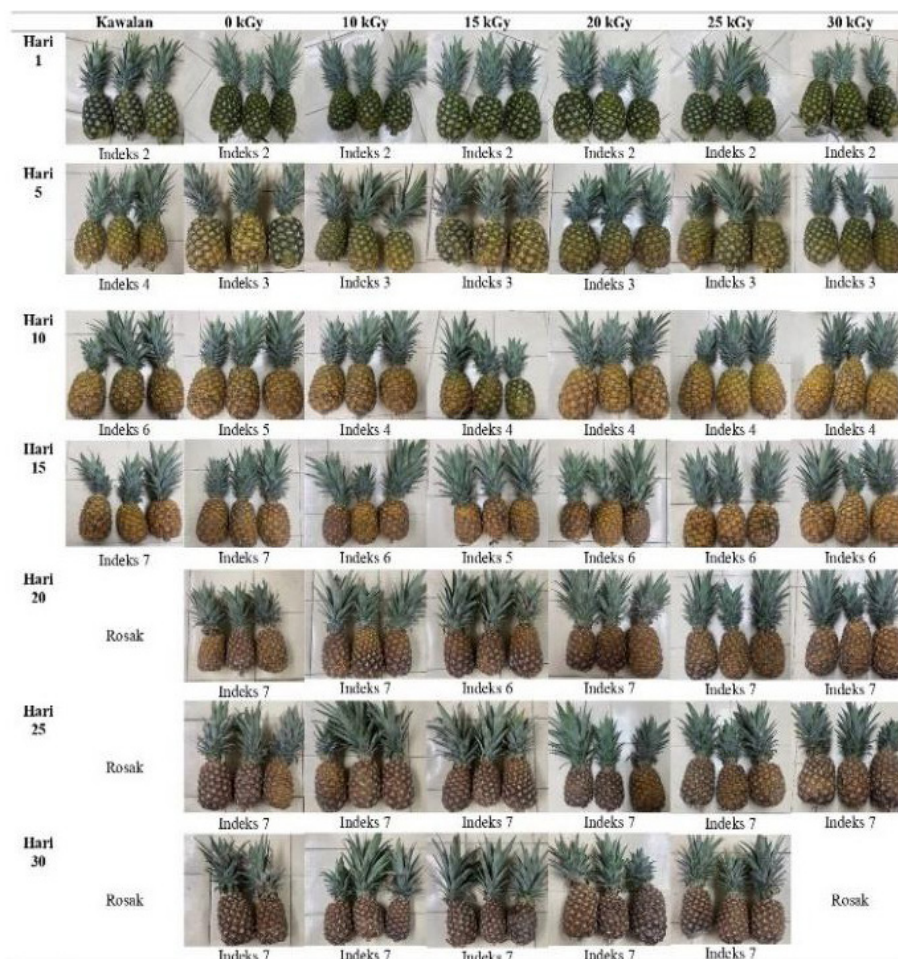
Parameter nilai keupayaan terhadap hidrogen (pH) digunakan untuk melihat perubahan kandungan asid pada buah nanas semasa tempoh penyimpanan. Salah satu asid yang terdapat dalam buah nanas ialah asid askorbik yang sangat berguna bagi tubuh manusia. Nilai pH buah nanas ini diukur selang 10 hari kajian ini dijalankan, iaitu sama seperti kandungan gula di mana hari 1, 10, 20 dan 30. Nilai pH buah nanas diukur menggunakan alat meter pH digital (berjenama Thermo Scientific Eutech). Meter pH digital ini perlu ditentu ukur terlebih dahulu dengan menggunakan larutan buffer 7.0. Kemudian, elektrod pH digunakan ke atas sampel setelah nilai yang tetap dicapai.

KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

Hasil pemerhatian terhadap indeks kematangan buah nanas ditentukan berdasarkan perubahan warna kulit mata buah nanas sepanjang tempoh penyelidikan (30 hari) seperti dalam Rajah 1. Pada hari pertama penyimpanan,

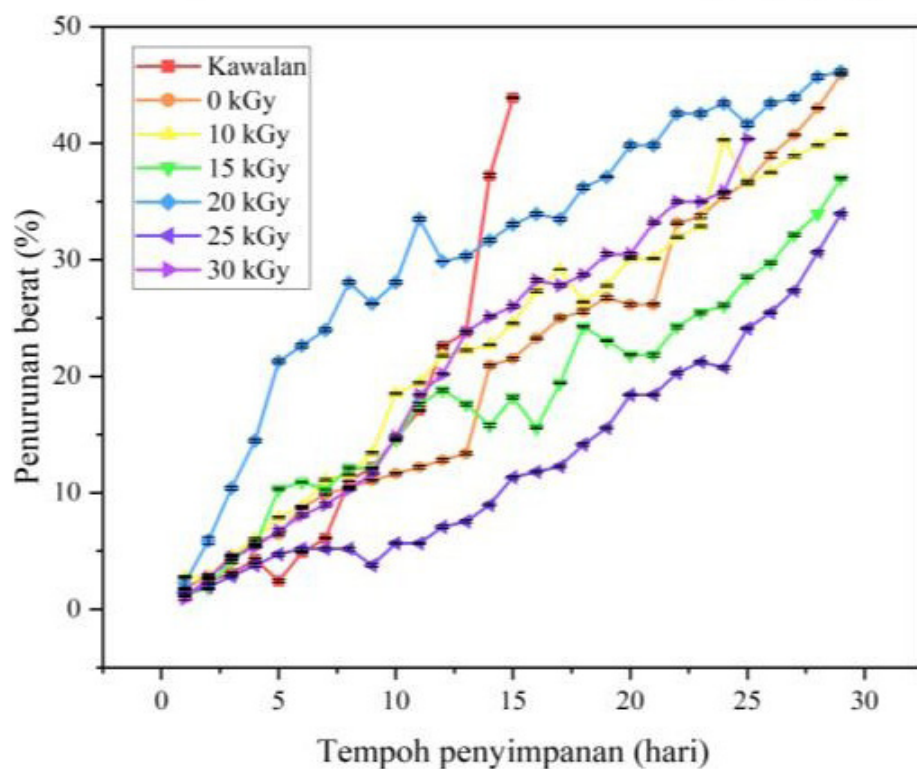
semua sampel iaitu buah nanas kawalan (tanpa salutan kitosan), nanas yang disalut kitosan (0 kGy) dan nanas yang disalut kitosan tersinar pada dos 10 - 30 kGy masih berada pada indeks 2; iaitu kategori buah belum matang. Pada peringkat ini, kulit buah nanas adalah berwarna hijau tua dengan keseluruhan mata kulit berwarna hijau gelap berkilat beserta kesan kuning antara mata di pangkal. Buah nanas pada indeks ini juga tidak boleh dimakan segar kerana masih berada dalam kategori buah belum matang sepenuhnya (FAMA, 2025). Pada hari ke-5 penyimpanan, hanya buah nanas kawalan menunjukkan perubahan warna pada indeks 4, iaitu kira-kira 25% daripada mata dari pangkal telah berwarna kuning dan buah dalam keadaan suku masak. Seterusnya, pada hari yang ke-10, buah nanas kawalan telah berubah warnanya dengan lebih daripada 75% mata berwarna kuning hingga yang dikategorikan pada indeks 6. Pada indeks ini, buah nanas dikategorikan telah masak tiga perempat dan juga sesuai untuk dimakan (FAMA, 2025). Dalam tempoh penyimpanan yang sama (hari ke-10), nanas yang disalut kitosan (0 kGy) telah menunjukkan berada pada indeks 5, manakala bagi

semua nanas yang disalut kitosan tersinar menunjukkan perubahan warna pada indeks 4. Berikutnya, pada hari yang ke-15, buah nanas kawalan dan yang disalut kitosan (0 kGy) telah berubah sepenuhnya pada indeks 7, diikuti nanas dengan salutan kitosan tersinar (10, 20, 25 dan 30 kGy) pada indeks 6. Manakala indeks terendah (indeks 5) didapati pada buah nanas dengan salutan kitosan tersinar pada 15 kGy. Kerosakan buah nanas kawalan telah diperhatikan pada hari penyimpanan melebihi 15 hari, sementara nanas yang disalut dengan kitosan (0 – 25 kGy) kekal pada indeks 7 sehingga 30 hari masa penyimpanan, kecuali nanas yang disalut dengan kitosan tersinar (30 kGy) didapati rosak pada hari ke-30. Kerosakan pada nanas yang disalut dengan kitosan tersinar (30 kGy) berkemungkinan disebabkan dos yang terlalu tinggi boleh memecahkan rantai polimer kitosan dengan lebih banyak dan menyebabkan penurunan berat molekulnya (Duan et al., 2019). Justeru, mengakibatkan pembentukan salutan yang lemah dengan sifat pelindung yang kurang berkesan. Tambahan lagi, kajian yang dilaporkan oleh (Wang et al., 2017) mendapati bahawa perubahan berat



RAJAH 1. Perubahan warna nanas sepanjang tempoh penyimpanan bagi penentuan indeks kematangan

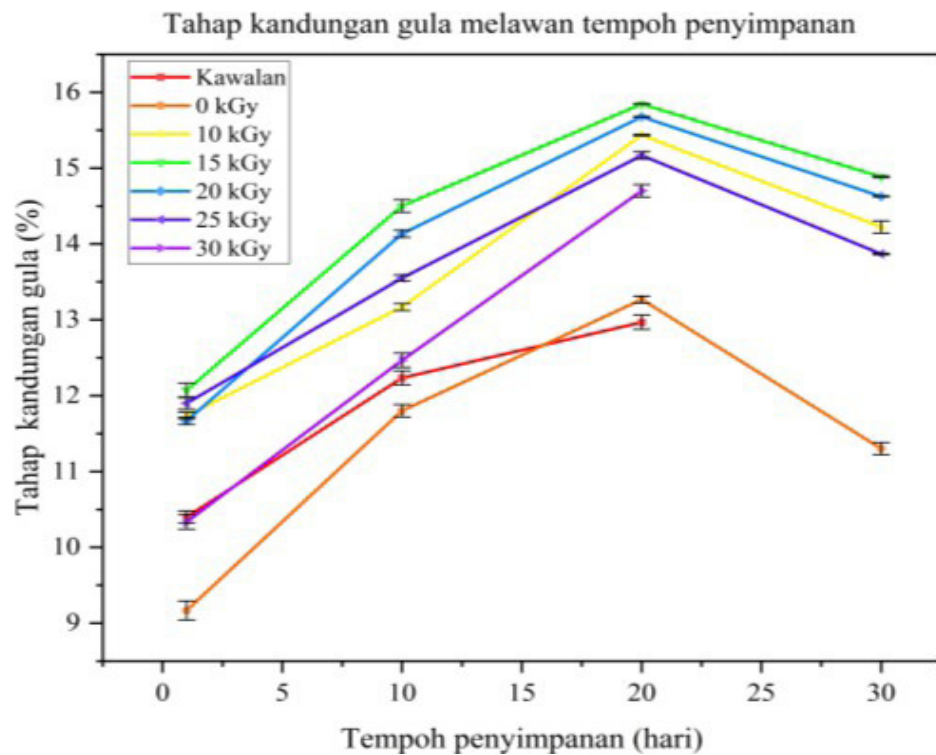
Peratus penurunan berat buah nenas melawan tempoh penyimpanan



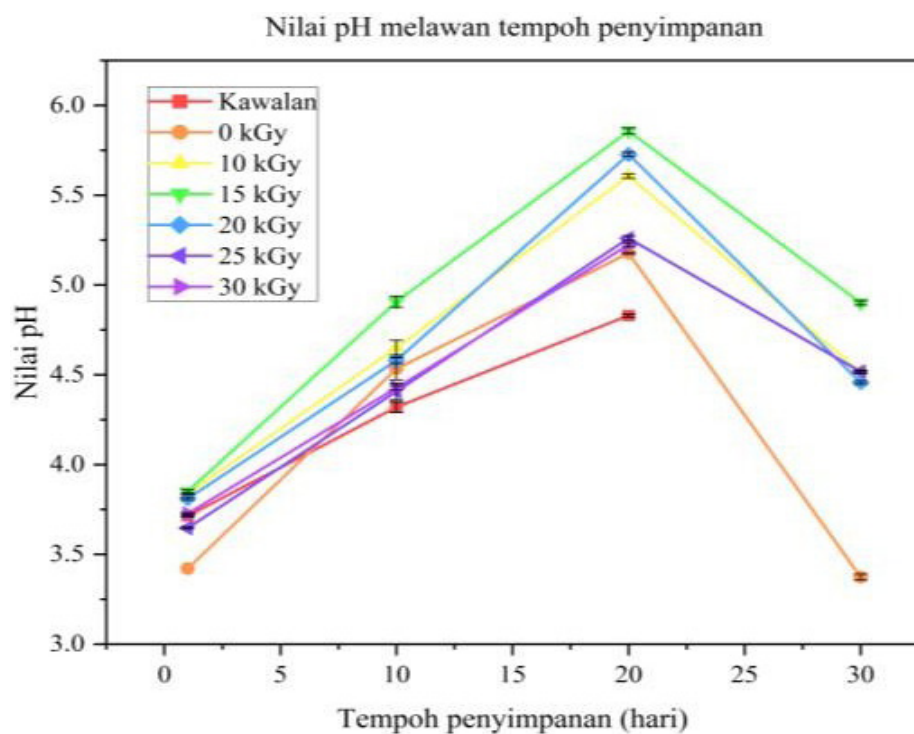
RAJAH 2. Peratus penurunan berat buah nenas sepanjang tempoh penyimpanan



RAJAH 3. Skala keperangan dalam buah nenas sepanjang tempoh penyimpanan



RAJAH 4. Peratus kandungan gula dalam buah nenas sepanjang tempoh penyimpanan



RAJAH 5. Nilai pH dalam buah nenas sepanjang tempoh penyimpanan

molekul boleh menjejaskan sifat antimikrob kitosan. Kesimpulannya, buah nanas yang disalut kitosan tersinar menunjukkan perubahan indeks kematangan dengan lebih perlahan berbanding buah nanas kawalan (tanpa salutan) dan buah nanas yang disalut kitosan (0 kGy), kecuali bagi buah nanas yang disalut kitosan tersinar pada 30 kGy yang rosak akibat salutan menjadi kurang berkesan pada dos yang terlalu tinggi. Dapatan kajian ini adalah selari dengan kajian Basumatry et al. (2022) (Basumatary et al., 2022), menunjukkan bahawa warna perubahan nanas yang dirawat dan tidak dirawat daripada hijau kepada kuning dan kemudian kepada jingga sehingga ke perang semasa tempoh penyimpanan.

Rajah 2 menunjukkan kadar peratusan kehilangan berat buah nanas yang bertambah sepanjang tempoh penyimpanan. Sepanjang tempoh penyimpanan, kadar peratusan penurunan berat buah bagi nanas yang disalut kitosan tersinar pada dos 10, 20 dan 30 kGy adalah dalam julat 38% hingga 44% dan ujian-t menunjukkan nilai yang signifikan setelah dibandingkan dengan buah kawalan iaitu julat p adalah 0.001 hingga 0.04 (kurang dari 0.05). Manakala, bagi nanas yang disalut kitosan (0 kGy) dan yang tersinar (15 dan 25 kGy) menunjukkan tiada perbezaan signifikan dari segi perubahan peratus penurunan berat dengan buah kawalan iaitu julat nilai p adalah 0.08 hingga 0.18. Menurut kajian Bal (2013) (Bal, 2013), penurunan berat buah yang dirawat dengan kitosan adalah rendah mungkin disebabkan oleh pembentukan kelembapan relatif yang tinggi di sekeliling buah yang mengurangkan kadar respirasi buah. Proses respirasi bermaksud pengambilan oksigen dan pembebasan karbon dioksida serta pengewapan wap air dalam buah. Buah yang mempunyai kadar respirasi yang tinggi akan mempercepatkan buah menjadi rosak. Salutan kitosan pada luaran buah bertindak bagi menghalang pemindahan air, melindungi kulit buah daripada kerosakan, dan melambatkan proses dehidrasi (Hernandez-Munoz, Almenar, Valle, Velez, & Gavara, 2008). Hasil kajian ini juga selari dengan kajian oleh Pinzon et al. (2020) (Pinzon et al., 2020) dan Basumatry et al. (2022) (Basumatary et al., 2022) iaitu penggunaan salutan kitosan yang disasarkan merendahkan kebolehtelapan wap air yang membantu mengurangkan penurunan berat buah-buahan dan sayur-sayuran semasa penyimpanan.

Skala keperangan dalaman pada buah nanas merujuk kepada ukuran kualitatif tahap pemerangan atau perubahan warna enzimatik yang berlaku pada buah. Rajah 3 menunjukkan sampel buah nanas yang telah dibelah separuh bagi tempoh penyimpanan hari 1, 10, 20 dan 30. Pada hari pertama penyimpanan, semua sampel buah nanas berada pada skala 0 yang bermaksud tiada sebarang bintik perang yang terhasil pada isi buah nanas. Pada hari ke-10 penyimpanan, hasil kajian menunjukkan kira-kira 10% pembentukan bintik keperangan kecil pada isi buah nanas kawalan yang dikategorikan sebagai skala 1 keperangan dalaman. Manakala, bagi sampel buah nanas yang disalut kitosan (0 kGy) dan kitosan yang tersinar (10 – 30 kGy)

masih mengekalkan skala 0. Seterusnya, pada hari ke-20 penyimpanan, isi buah nanas kawalan diperhatikan kira-kira 25–50% bintik keperangan terhasil yang dikategorikan sebagai skala 3. Pada tempoh penyimpanan ini juga, buah nanas yang disalut kitosan (0 kGy) dan nanas yang disalut kitosan tersinar (30 kGy) masing-masing menunjukkan keperangan dalaman isi buah pada skala 1. Pada hari terakhir penyimpanan, iaitu hari ke-30, buah nanas yang disalut kitosan (0 kGy) telah menunjukkan kira-kira 25–50% bintik perang yang terhasil pada isi buah nanas dan dikategorikan sebagai skala 3. Buah nanas yang disalut kitosan tersinar (10 dan 25 kGy) juga menunjukkan bintik keperangan pada isi buah yang terhasil kira-kira 10–25% yang dikategorikan sebagai skala 2. Hasil kajian menunjukkan buah nanas yang disalut kitosan tersinar (15 dan 20 kGy) berada pada skala 0 di mana tiada keperangan yang terhasil pada isi buah nanas walaupun telah mencapai 30 hari tempoh penyimpanan. Basumatry et al. (2022) (Basumatary et al., 2022) dalam kajiannya melaporkan bahawa buah nanas yang disalut tiada keperangan pada hari ke-20 penyimpanan.

Purata peratus kandungan gula serta nilai pH dalam semua jenis sampel nanas sepanjang 30 hari penyimpanan ditunjukkan seperti dalam Rajah 4 dan 5. Kedua-dua Rajah ini menunjukkan trend yang hampir sama iaitu peningkatan maksimum kandungan gula serta nilai pH didapati bagi semua sampel buah nanas pada hari ke-20 penyimpanan. Sampel buah nanas yang disalut kitosan tersinar (15 kGy) mencatatkan bacaan tertinggi iaitu sebanyak 15.8% brix (Rajah 4) dengan pH 5.7 (Rajah 5). Manakala sampel kawalan (tanpa salutan kitosan) dan sampel nanas yang disalut kitosan (0 kGy) mencatatkan bacaan kandungan gula dan nilai pH yang paling kecil iaitu sebanyak ~ 13.0% brix dan pH 4.7 – 5.2. Hasil kajian ini adalah selari dengan dapatan daripada kajian yang telah dilaporkan oleh Ibrahim et al. (2014) (Ibrahim et al., 2014) yang mendapati nanas bersalut kitosan yang disinari menunjukkan peningkatan yang ketara dalam kandungan gula semasa penyimpanan berbanding dengan kitosan yang tidak disinari dan kawalan (Ibrahim et al., 2014). Peningkatan peratus kandungan gula dalam tempoh penyimpanan berlaku adalah hasil daripada pemecahan enzimatik polisakarida yang menjadi gula. Peningkatan sukrosa ini sangat penting kerana ia meningkatkan rasa manis buah dan merupakan antara faktor yang sangat penting bagi penggemar buah-buahan.

Pada hari ke-30 penyimpanan, trend penurunan kandungan gula dan nilai pH (Rajah 4 dan 5) didapati pada semua jenis sampel nanas dengan julat kandungan gula 13.9 – 14.9% brix dan pH 4.51 hingga 4.90 bagi sampel nanas yang disalut kitosan tersinar (10-25 kGy) berbanding sampel nanas yang disalut kitosan (0 kGy) iaitu 11.3% brix dan pH 3.37. Namun penurunan gula bagi buah nanas yang disalut kitosan tersinar ini masih berada pada julat kemanisan buah nanas yang sesuai bagi jenis MD2 iaitu 12 – 19% brix (Halim, Yusof, Noh, & Ghani, 2016). Pada tempoh penyimpanan ini juga (30 hari), buah

nanas kawalan dan buah yang disalut kitosan tersinar pada dos 30 kGy telah mengalami kerosakan buah. Penurunan peratus kandungan gula mungkin disebabkan oleh aktiviti enzimatik dan proses respirasi yang menyumbang kepada penguraian gula dari semasa ke semasa. Kemudian berlaku kehilangan lembapan dan penurunan keasidan secara fisiologi perubahan semasa penyimpanan (Yonemoto, Higuchi, & Kitano, 2002). Penurunan nilai pH pula berlaku disebabkan penurunan kandungan gula dalam buah nanas semasa tempoh penyimpanan. Nilai pH nanas juga menurun disebabkan oleh penapaian gula kepada asid dari semasa ke semasa, yang meningkatkan keasidan dan membantu menghalang pertumbuhan bakteria (Ibrahim et al., 2014). Ringkasnya, analisis ini menunjukkan perubahan kandungan gula dan nilai pH meningkat berkadar dengan masa penyimpanan sehingga mencapai tahap tepu pada 20 hari penyimpanan.

KESIMPULAN

Kesimpulannya, buah nanas yang disalut kitosan yang disinarkan menunjukkan hasil yang terbaik sepanjang tempoh penyimpanan dengan peratus penurunan berat dan pembentukan keperangan pada isi buah yang minimum serta peningkatan terhadap kandungan gula dan nilai pH. Dos optimum bagi kitosan yang disinarkan sebagai salutan luaran buah nanas dalam kajian ini adalah pada 15 kGy. Hasil kajian juga menunjukkan bahawa teknik penyinaran pada dos 10 - 25 kGy boleh membantu dalam memanjangkan jangka hayat buah sehingga 30 hari penyimpanan dan melambatkan proses kerosakan buah. Tempoh ini adalah 15 hari lebih lama berbanding buah nanas yang disimpan pada suhu 10°C. Justeru, kaedah salutan kitosan tersinar sebagai bahan salutan luaran buah-buahan merupakan salah satu cara yang berkesan untuk pemeliharaan selepas tuaian dan mengekalkan kualiti buah nanas.

PENGHARGAAN

Penulis merakamkan penghargaan kepada semua pihak yang terlibat terutama Pusat Penyelidikan Teknologi Nuklear untuk kemudahan penyinaran gama yang disediakan.

RUJUKAN

- Abbasi, N., Iqbal, Z., Maqbool, M. & Hafiz, I. A. 2009. Postharvest quality of mango (*Mangifera indica* L.) fruit as affected by chitosan coating. *Pakistan Journal of Botany* 41(1): 343-357.
- Ali, M. M., Hashim, N., Abd Aziz, S. & Lasekan, O. 2022. Shelf life prediction and kinetics of quality changes in pineapple (*Ananas comosus*) varieties at different storage temperatures. *Horticulturae* 8(992): 1-15.
- Bal, E. 2013. Postharvest application of chitosan and low temperature storage affect respiration rate and quality of plum fruits. *Journal of Agriculture Science and Technology* 15: 1219-1230.
- Basumatary, I. B., Mukherjee, A., Katiyar, V., Dutta, J. & Kumar, S. 2022. Chitosan-based active coating for pineapple preservation: Evaluation of antimicrobial efficacy and shelf-life extension. *Lwt* 168: 113940.
- Dotto, G. L., Vieira, M. L. G. & Pinto, L. A. A. 2015. Use of chitosan solutions for the microbiological shelf life extension of papaya fruits during storage at room temperature. *Lwt - Food Science and Technology* 64(1): 126-130.
- Duan, C., Meng, X., Meng, J., Khan, M. I. H., Dai, L., Khan, A., ... & Ni, Y. 2019. Chitosan as a preservative for fruits and vegetables: a review on chemistry and antimicrobial properties. *Journal of Bioresources and Bioproducts* 4(1): 11-21.
- FAMA. 2025. Menuju ke arah kualiti Malaysia's best nanas. Retrieved from <https://www.fama.gov.my/documents/20143/0/Nanas.pdf/e228dc38-c796-ca4f-5d31-502d34f78540>
- Halim, N. A., Yusof, R. M., Noh, N. F. M. & Ghani, N. S. A. 2016. Potensi pasaran nanas MARDI Sweet 16: kajian perbandingan. *Economic and Technology Management Review* 11a: 9-17.
- Hernandez-Munoz, P., Almenar, E., Valle, V. D., Velez, D. & Gavara, R. 2008. Effect of chitosan coating combined with postharvest calcium treatment on strawberry (*fragaria* × *anayasa*) quality during refrigerated storage. *Food Chemistry* 110(2): 428-435.
- Ibrahim, S. M., Nahar, S., Islam, J. M. M., Islam, M., Hoque, M. M., Huque, R. & Khan, M. A. 2014. Effect of low molecular weight chitosan coating on physico-chemical properties and shelf life extension of pineapple (*Ananas sativus*). *Journal of Forest Products and Industries* 3(3): 161-166.
- Jaywant, S. A., Singh, H. & Arif, K. M. 2022. Sensors and instruments for brix measurement: a review. *Sensors* 22(6): 1-20.
- Kumar, M. N. V. R., Muzzarelli, R. A. A., Muzzarelli, C., Sashiwa, H. & Domb, A. J. 2004. Chitosan chemistry and pharmaceutical perspectives. *Chemical Reviews* 104(12): 6017-6084.
- LPNM. 2019. Laporan tahunan LPNM 2018. Retrieved from <http://www.mpib.gov.my/khasiat-nanas/>
- Mahmud, M., Talip, N., Yacob, N. & Idris, S. 2023. Application interval and concentration effect of gamma degraded chitosan on mulberry plant. *Food Research* 7(2): 94-100.
- Marianti, A., Anggraito, Y. U., & Christijanti, W. 2020. Effective gamma irradiation dose on viscosity and molecular weight reduction of chitosan. *Journal of Physics: Conference Series* 1567: 1-5.

- Mat Jusoh, N. A., Ding, P., & Yeat, C. S. 2020. Extending post-harvest quality of fresh fig (*Ficus carica* L.) fruit through manipulation of pre- and post-harvest practices: a review. *Sains Malaysiana* 49(3): 553-560.
- Munera, S., Rodriquez-Ortega, A., Cubero, S., Aleixos, N., & Blasco, J. 2025. Automatic detection of pomegranate fruit affected by blackheart disease using X-ray imaging. *Lwt* 215: 1-7.
- Pinzon, M. I., Sanchez, L. T., Garcia, O. R., Gutierrez, R., Luna, J. C. & Villa, C. C. 2020. Increasing shelf life of strawberries (*Fragaria ssp*) by using a banana starch-chitosan-aloe vera gel composite edible coating. *International Journal of Food Science and Technology* 55(1): 92-98.
- Proshad, R., Islam, M. S., Islam, M. N., Hossain, M. R., Kormoker, T., Islam, M. S. & Billah, K. M. M. 2018. Promiscuous application of toxic agrochemical on pineapple: health hazard implications in bangladesh. *Food Research* 2(2): 139-145.
- Senna, M. M., Al-Sahmrani, K. M. & Al-Arafi, A. S. 2014. Edible coating for shelf-life extension of fresh banana fruit based on gamma irradiated plasticized poly(vinyl alcohol)/carboxymethyl cellulose/tannin composites. *Materials Sciences and Applications* 5(6): 395-415.
- Tanasale, M., Bijang, C. M. & Rumpakwara, E. 2019. Preparation of chitosan with various molecular weight and its effect on depolymerization of chitosan with hydrogen peroxide using conventional technique. *International Journal of ChemTech Research* 12(1): 112-120.
- Wang, Y. G., Li, B., Zhang, X. D., Peng, N., Mei, Y. & Liang, Y. 2017. Low molecular weight chitosan is an effective antifungal agent against *Botryosphaeria* sp. and preservative agent for pear (*Pyrus*) fruits. *International Journal of Biological Macromolecules* 95: 1135-1143.
- Yonemoto, Y., Higuchi, H., & Kitano, Y. 2002. Effects of storage temperature and wax coating on ethylene production, respiration and shelf-life in cherimoya fruit. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science* 71(5): 643-650.

*Pengarang untuk surat-menyurat; email: syahidah@ukm.edu.my