

Teknik dan amalan penggredan dalam penentuan kematangan tembikai

(Techniques and practices on grading in determining watermelon maturity)

Amir Syariffuddeen Mhd Adnan, Badaruzzaman Mohd Noh dan Masniza Sairi

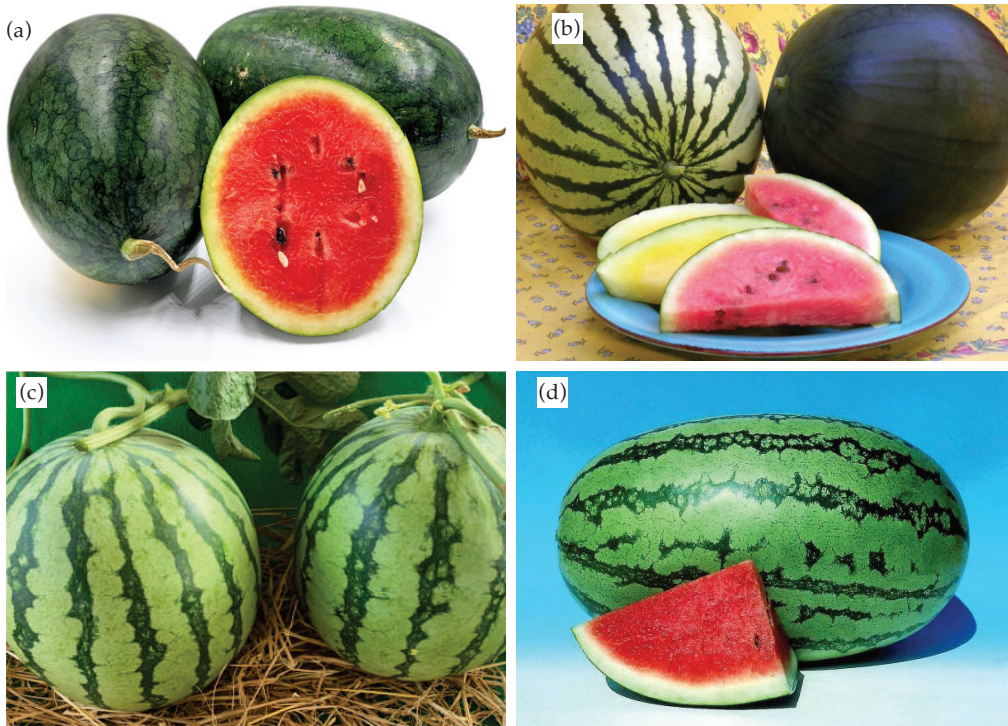
Pengenalan

Tembikai yang juga dikenali sebagai semangka atau nama saintifiknya *Citrullus lanatus* adalah salah satu daripada buah-buahan primer yang agak popular dalam kalangan rakyat Malaysia. Tembikai dipercayai berasal dari benua Afrika dan telah ditanam di Semenanjung Timur Tengah selama beribu-ribu tahun. Buah ini juga merupakan buah kedua yang paling banyak dihasilkan di seluruh dunia dengan pengeluaran kira-kira 100.40 juta tan metrik dalam pengeluaran global pada tahun 2019. Di Malaysia, keluasan bagi penanaman tembikai merekodkan kira-kira 9,310 hektar tanah dengan pengeluaran sebanyak 155,210 tan metrik. Negeri Kelantan menjadi negeri yang mempunyai keluasan kawasan penanaman terbesar iaitu 2,114 hektar dan juga menjadi pengeluar utama tembikai di Malaysia dengan pengeluaran 40,783 tan metrik. Ini diikuti negeri Pahang dengan keluasan 1,436 hektar dengan pengeluaran sebanyak 22,212 tan metrik serta negeri Terengganu dengan 1,079 hektar dan 19,746 tan metrik pengeluaran.

Tembikai selalunya ditanam di kawasan bermusim panas dan biasanya akan mengalami musim pertumbuhan yang panjang dan hangat. Dari segi struktur fizikal, ia mempunyai batang yang lembut dan sulur dengan panjang sekitar 20 – 60 kaki dan kebiasaannya buah akan masak di atas tanah. Berasal daripada keluarga Cucurbitaceae, tembikai adalah sejenis buah yang mempunyai kandungan air yang tinggi melebihi 90% dengan warna isi buah yang kebanyakannya daripada varieti komersial berwarna merah atau kuning. Secara umum, varieti tembikai yang ditanam di Malaysia adalah daripada jenis *Black Beauty* [Gambar 1(a)], *Sugar Baby* [Gambar 1(b)], *China Dragon* [Gambar 1(c)] dan *New Dragon* [Gambar 1(d)]. Dari segi komposisi kimia, tembikai mempunyai sumber vitamin dan mineral seperti karbohidrat, kalsium, fosforus dan asid askorbik. Selain itu, ia juga adalah sumber likopena dan sitrulina. Likopena adalah sejenis karotenoid yang memberikan sifat warna merah yang membezakan tembikai manakala sitrulina adalah sejenis kandungan asid amino.

Kaedah konvensional penggredan tembikai

Dari segi penggredan dalam menentukan peringkat matang dan masak tembikai, pelbagai kaedah penggredan yang digunakan dan menjadi amalan petani. Secara kebiasaannya, bagi petani berskala kecil dan sederhana, antara kaedah penggredan bagi kematangan



Gambar 1. Varieti tembikai yang ditanam di Malaysia. (a) Black Beauty (b) Sugar Baby (c) China Dragon (d) New Dragon

tembikai adalah melalui kaedah manual yang menggunakan perbezaan bunyi ketukan pada tembikai (Gambar 2). Kaedah ini berkait rapat dengan pengalaman petani dalam menentukan buah yang masak sebelum dilakukan penuaian. Selain itu, kaedah pemerhatian bahagian buah yang menyentuh tanah iaitu sekiranya bahagian itu telah bertukar kepada kuning ia dianggap tembikai itu telah matang dan sesuai dituai (Gambar 3). Selanjutnya, penentuan kematangan buah yang masak secara manual adalah dengan melihat pada tangkai buah yang kering pada sulur pokok juga dianggap sebagai tanda buah telah matang seperti dalam Gambar 4. Kaedah penggredan yang disebut di atas merupakan kaedah manual yang memerlukan penglibatan tenaga buruh dan sedikit sebanyak menyumbang kepada peningkatan kos operasi kepada petani dan pengusaha ladang tembikai. Selanjutnya, kaedah manual juga dipanggil sebagai kaedah musnah (*destructive technique*) yang boleh memberi kesan kecederaan kepada tembikai. Fenomena sebegini juga akan memberi kesan terhadap kualiti dalaman dan luaran buah.

Justeru, bagi mengurangkan kebergantungan kepada tenaga buruh, penggredan tembikai memerlukan kepada kaedah yang lebih efektif dengan pengendalian secara automatik yang dapat memelihara kualiti luaran dan dalaman tembikai. Kaedah yang dimaksudkan adalah kaedah tanpa musnah yang melibatkan penggunaan peranti elektronik. Penggunaan aplikasi teknik tanpa musnah atau *non-destructive technique* (NDT) dilihat berpotensi



Gambar 2. Kaedah manual yang menggunakan perbezaan bunyi ketukan pada tembikai



Gambar 3. Pemerhatian bahagian buah yang menyentuh tanah



Gambar 4. Kaedah manual dengan melihat tangkai buah pada sulur pokok

mengurangkan risiko kerosakan dalam proses mengenal pasti kualiti dalaman buah-buahan. Teknik ini tidak memerlukan proses pemotongan buah atau menekan buah secara sentuhan. Oleh yang demikian, teknik ini tidak akan memusnahkan struktur fizikal dalaman dan luaran buah-buahan yang dianalisis dan sekali gus dapat membantu menjamin kualiti produk yang akan dipasarkan.

Kaedah penggredan secara teknik tanpa musnah

Aplikasi teknologi canggih melalui kaedah tanpa musnah semakin berkembang dengan pesat dalam bidang pertanian dengan matlamat untuk memenuhi keperluan bekalan makanan dan pengeluaran hasil pertanian yang tinggi. Antara teknik tanpa musnah yang kian mendapat sambutan dan diguna pakai adalah melalui pengesanan sifat makanan melalui parameter seperti sifat optik, getaran, bunyi dan juga elektrik. Parameter yang terlibat dalam pengesanan sifat makanan ini berkeupayaan dalam menilai hubungan kaitnya dengan sifat fizikokimia dan tanpa merosakkan struktur bahan makanan yang diuji. Sebagai contoh adalah analisis ciri-ciri kematangan tembikai yang dapat ditentukan melalui isyarat akustik oleh mikrofon pada peranti mudah alih. Kajian yang dilakukan oleh Wei Zeng dan ahli pasukannya pada 2013 di China ini dapat mengatasi masalah penentuan kematangan tembikai antara buah yang telah masak atau belum masak dalam

keadaan “real-time”. Isyarat akustik yang dikumpulkan daripada tembikai dirakam, dianalisis dan diterjemahkan mengikut kelas kematangan tembikai. Ciri akustik yang berhubung kait dengan kematangan tembikai seterusnya akan digabungkan dan menghasilkan vektor yang digunakan bagi menjana model klasifikasi kematangan buah. Model klasifikasi tersebut diuji dan keputusannya dapat mengelaskan peringkat kematangan buah dengan ketepatan sehingga 89%.

Abbaszadeh et al. pada 2013 telah mengkaji penggredan tembikai melalui spektrum tindak balas getaran (*vibrational response spectrum*) dalam menentukan indeks kematangan tembikai (Gambar 6). Ini dilakukan melalui pengesanan tindak balas spesimen sampel tembikai terhadap eksitasi getaran (*vibration excitation*) yang direkodkan melalui peralatan yang dipanggil *Laser Doppler Vibrometry*. Perbezaan fasa antara isyarat getaran input dan output akan dinilai pada julat frekuensi yang ditentukan. Nilai pepejal terlarut (TSS), nilai tetraisi keasidan (TA) dan nisbah TSS/TA juga direkod sebagai parameter bagi pengukuran kematangan tembikai. Dua regresi iaitu regresi *stepwise multiple linear regression* (SMLR) dan juga *square regression* (PLS) dibentuk dan digunakan bagi membentuk hubung kait antara isyarat getaran dengan parameter kematangan tembikai, sekali gus bagi membina model ramalan kualiti dan kematangan tembikai. Keputusan yang diperolehi menunjukkan prestasi model SMLR lebih baik daripada PLS. Pekali penentuan (R^2) model pengesanan SMLR masing-masing merekodkan nilai 0.9976, 0.9985 dan 0.9542 untuk TSS, TA dan TSS/TA. Nilai pekali yang diperolehi ini meramalkan kemungkinan kemerosotan bahan dinding sel yang menjadi pepejal larut semasa proses kematangan mengubah sifat viskoelastik tembikai yang dipantulkan oleh tindak balas getaran.



(Sumber: Wei Zeng et al. 2013)

Gambar 5 (a). Perbandingan kualiti dalaman bagi tembikai masak dan belum masak (b) Carta alir pemprosesan signal akustik bagi penentuan kematangan tembikai

Kajian penggredan tembikai secara teknik tanpa musnah di MARDI

Di MARDI, inisiatif terhadap kajian berkaitan penggredan dan penentuan kualiti dalam tembikai melalui aplikasi teknik tanpa musnah juga telah dijalankan. Teknik yang diguna pakai adalah melalui pengukuran sifat dielektrik bagi penelitian kualiti dalaman tembikai. Teknik ini memberikan fokus terhadap hubungan sifat dielektrik dengan beberapa sifat fizikokimia seperti nilai kandungan pepejal terlarut (SSC), kandungan kelembapan (% m.c) dan nilai ketumpatan tembikai. Ini seterusnya akan dibangunkan satu model yang akan membantu dalam menentukan peringkat kematangan tembikai. Dalam kajian ini, pengumpulan data yang meliputi pengaruh sifat dielektrik, iaitu nilai ketelusan (*permittivity*) yang merangkumi pemalar dielektrik (*dielectric constant*), ϵ' dan kehilangan dielektrik (*dielectric loss*), ϵ'' serta perkaitannya dengan sifat fizikokimia tembikai iaitu kandungan kelembapan semasa tempoh kematangan buah dari minggu keenam sehingga minggu ke-10. Pengumpulan data sifat dielektrik tersebut dilakukan melalui penggunaan probe sampel jenis *open-coaxial* yang dihubungkan dengan alat penganalisis rangkaian gelombang mikro (*microwave network analyzer*) yang dijalankan pada julat frekuensi 1.0 – 8.5GHz.



Gambar 6. Pengesanan tindak balas getaran melalui peralatan Laser Doppler Vibrometry pada permukaan luar tembikai sebagai signal output penentuan kematangan tembikai (Abbaszadeh et al. 2017)

Metodologi kajian

Kajian teknik tanpa musnah dalam menentukan penggredan tembikai ini melibatkan dua kaedah iaitu (i) penentuan sifat fizikokimia tembikai dan (ii) penentuan sifat dielektrik daripada sampel tembikai.

Penentuan sifat fizikokimia tembikai

Pengukuran sifat fizikokimia tembikai melibatkan pengumpulan data terhadap jisim, saiz, kandungan kelembapan (% m.c) dan kandungan pepejal terlarut (SSC). Jisim sampel tembikai direkodkan daripada bacaan alat penimbang elektronik sementara saiz sampel diukur dengan mengambil ukuran panjang dan lebar buah dengan menggunakan alat *calipper*. Kandungan kelembapan (% m.c) pula diukur dengan menggunakan teknik pengeringan secara gelombang mikro dengan merujuk kepada kaedah piawaian *Association of Official Analytical Collaboration (AOAC) International*. Untuk menjalankan eksperimen ini, sampel tembikai telah dipotong kiub bersaiz 3 cm × 3 cm × 3 cm (Gambar 7). Sampel seterusnya ditimbang dengan menggunakan alat penimbang elektronik dan kemudiannya dikeringkan selama 20 minit di dalam ketuhar gelombang mikro berkuasa 550 watt. Seterusnya, sampel tembikai yang telah dikeringkan akan disejukkan ke suhu

ambien (25 °C) sebelum ditimbang semula. Proses ini diulang sehingga nilai bacaan kelembapan konsisten dan tiada perbezaan yang signifikan. Nilai kandungan kelembapan diukur berdasarkan Persamaan 1 seperti berikut:

$$\text{Moisture content (\%)} = \frac{m_{\text{wet}} - m_{\text{dry}}}{m_{\text{wet}}} 100 \% \quad \dots\dots\dots(1)$$

Di mana: *Moisture content* = Kandungan kelembapan (%)
 m_{wet} = Berat asal sampel
 m_{dry} = Berat sampel selepas pengeringan



Gambar 7. Penyediaan sampel tembikai bagi analisis kandungan kelembapan (% m.c) menggunakan kaedah piawai AOAC International

Bagi pengukuran SSC, isi tembikai diperah bagi menghasilkan sedikit jus dan seterusnya jus diletakkan pada permukaan prisma alat refraktometer. Bacaan SSC sampel direplikasi sebanyak tiga kali dan kemudiannya dipuratakan nilainya. Sementara itu ketumpatan tembikai pula dilakukan dengan menggunakan kaedah pengiraan standard setelah mendapatkan isi padu sampel tembikai dengan menggunakan kaedah sesaran air.

Pengukuran sifat dielektrik dilakukan dengan menggunakan peralatan elektronik Keysight Technologies dengan probe penerima koaksial terbuka (OEC) (Keysight Technologies, Inc., California) bersama dengan HP 8720B Vector Network Analyzer (VNA) (Keysight Technologies, Inc., California). Julat frekuensi yang digunakan untuk pengukuran ini ialah 1.0 – 8.5 GHz. Nilai piawai sifat dielektrik yang dijadikan rujukan bagi penerima OEC adalah nilai penentuan udara dan air ternyah ion (*deionized water*). Permukaan dan tisu dalaman sampel tembikai (ketebalan 3 cm) disokong menggunakan bicu makmal yang dinaikkan untuk membawa sampel rapat dengan penerima (Gambar 8). Kabel sepaksi dan sensor dipasang menggunakan kedudukan retort kerana sekiranya terjadi, ia dapat mempengaruhi hasil pengukuran. Komputer digunakan untuk mengendalikan sistem dan mengumpulkan data.



Gambar 8. Pengujian sifat dielektrik pada permukaan dan tisu dalam tembikai menggunakan peralatan elektronik dengan probe penerima koaksial terbuka (OEC)

Perbincangan dan keputusan

Fizikokimia tembikai

Dengan mengelaskan sampel tembikai kepada tiga kategori iaitu belum matang, separa matang dan matang, sifat fizikokimia sampel tembikai yang diukur dari minggu keenam hingga minggu ke-10 ditunjukkan seperti dalam *Jadual 1*. Dapat diperhatikan sifat fizikal tembikai pada minggu ke-10 menunjukkan nilai tertinggi dengan bacaan saiz (panjang, lebar), berat, kandungan kelembapan (% m.c) dan kandungan pepejal terlarut (SSC) direkodkan masing-masing ialah 66.6 cm, 79.0 cm, 6.765 kg, 92.19% dan 10.850 °Brix. Secara amnya, tahap perkembangan tembikai menunjukkan peningkatan saiz (panjang dan lebar), berat dan isi padu yang cepat dan seterusnya konsisten, dan tetap pada peringkat pertumbuhan yang seterusnya. Sebaliknya, nilai ketumpatan dan kandungan kelembapan tembikai pada peringkat awal pertumbuhan adalah rendah dan meningkat secara konsisten apabila melalui fasa peringkat pertumbuhan yang semakin matang. Nilai ketumpatan yang rendah semasa pertumbuhan minggu keenam hingga minggu kesembilan dipengaruhi oleh kandungan kelembapan yang juga rendah.

Perkaitan hal ini adalah disebabkan oleh tindak balas biokimia yang disebabkan oleh proses transpirasi dengan transisi pemindahan kelembapan osmotik molekul air daripada kulit ke pulpa. Peningkatan pemindahan kelembapan osmotik daripada kulit ke pulpa mungkin menyumbang kepada peningkatan kandungan kelembapan buah semasa pematangan, iaitu fenomena yang berlaku semasa kematangan buah pada minggu ke-10. SSC tembikai juga menunjukkan kecenderungan peningkatan selari dengan peningkatan peringkat pertumbuhan tembikai. Fenomena ini menyokong dapatan yang diperolehi Jagtiani et. al. pada 1988 yang menyatakan peningkatan nilai SSC seiring dengan peningkatan metabolisme buah semasa peringkat perkembangan. Selain itu, peningkatan SSC juga dapat dikaitkan dengan peningkatan nisbah gula ke asid dan gula larut seperti

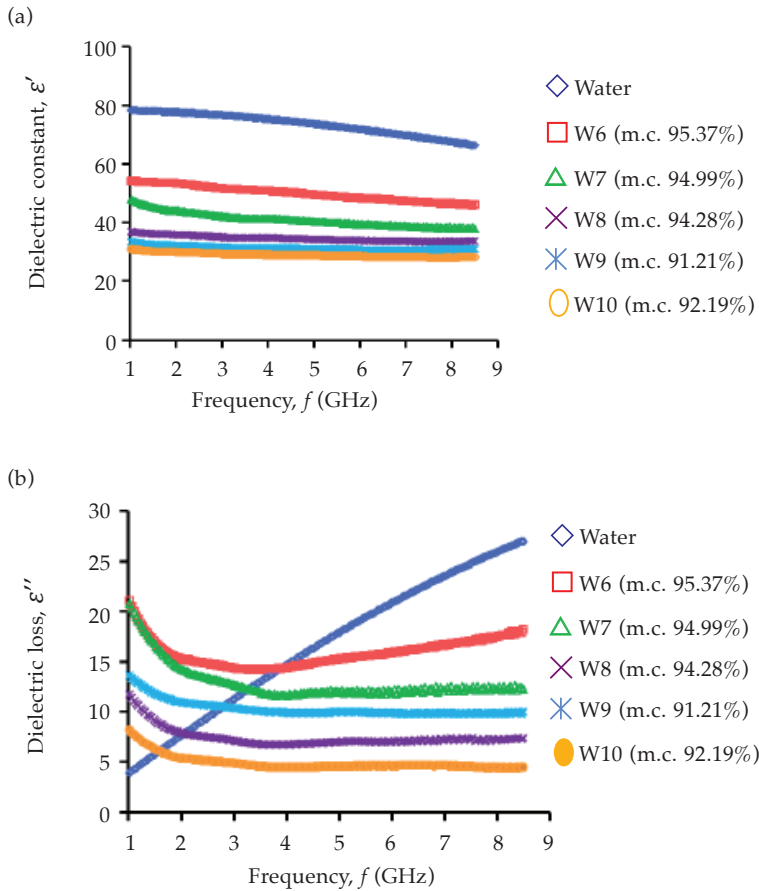
Jadual 1. Sifat fizikokimia tembikai

Peringkat matang	Masa (minggu)	Lebar (cm) ($\pm$ std. dev.)	Panjang (cm) ($\pm$ std. dev.)	Berat (kg) ($\pm$ std. dev.)	Isi padu (L) ($\pm$ std. dev.)	Ketumpatan, ρ ($\pm$ std. dev.)	M.C (%) ($\pm$ std. dev.)	SSC ($^{\circ}$ Brix) ($\pm$ std. dev.)
Belum matang	6	20.85 $\pm$ 0.919	22.90 $\pm$ 0.141	0.151 $\pm$ 0.015	0.039 $\pm$ 0.039	3.870 $\pm$ 0.038	95.37 $\pm$ 0.611	4.156 $\pm$ 0.574
	7	31.10 $\pm$ 3.112	32.40 $\pm$ 1.512	0.528 $\pm$ 0.043	0.490 $\pm$ 0.053	1.077 $\pm$ 0.043	94.99 $\pm$ 0.425	4.720 $\pm$ 0.245
Separa matang	8	39.23 $\pm$ 0.759	43.57 $\pm$ 0.262	1.216 $\pm$ 0.056	1.161 $\pm$ 0.051	1.047 $\pm$ 0.005	94.28 $\pm$ 1.448	5.780 $\pm$ 0.887
	9	50.93 $\pm$ 0.368	56.40 $\pm$ 1.925	2.654 $\pm$ 0.194	2.623 $\pm$ 0.179	1.012 $\pm$ 0.009	91.21 $\pm$ 0.927	8.330 $\pm$ 0.532
Matang	10	66.60 $\pm$ 0.600	79.00 $\pm$ 0.600	6.765 $\pm$ 0.020	3.514 $\pm$ 2.410	1.092 $\pm$ 0.005	92.19 $\pm$ 1.215	10.850 $\pm$ 0.050

laporan Lamsal dan Jindal pada 2014. Pada 2017, Gill et al. pula melaporkan peningkatan SSC akan meningkatkan tahap kemanisan tembikai dan ini berlaku disebabkan tindak balas kimia dan pemecahan karbohidrat menjadi gula dan glukosa sederhana.

Sifat dielektrik tembikai

Kajian sifat dielektrik tembikai memberikan fokus terhadap interaksi dengan sifat fizikal kandungan kelembapan (kandungan air) buah sahaja. Dapatan pengukuran sifat dielektrik seperti nilai ketelusan (*permittivity*) yang (merangkumi pemalar dan kehilangan dielektrik) adalah seperti dalam *Rajah 1(a)* dan *(b)*. *Rajah 1(a)* menunjukkan bahawa nilai pemalar dielektrik (*dielectric constant*), ϵ' semasa peringkat perkembangan buah dari minggu keenam hingga ke-10 menurun dengan peningkatan frekuensi 1.0 – 8.5 GHz. Keputusan ini menunjukkan nilai pemalar elektrik ϵ' pada sampel tembikai adalah mengikut profil nilai ϵ' pada sampel air yang digunakan sebagai rujukan. Pemalar dielektrik ditakrifkan sebagai kemampuan menyimpan tenaga lebih rendah pada frekuensi yang lebih tinggi dan dalam hal ini dapat dilihat nilai ϵ' pada frekuensi 8.5 GHz untuk sampel air dan tembikai. Fenomena ini terhasil kesan daripada polarisasi elektrik pada frekuensi tertentu dan molekul air dapat mengikuti getaran gelombang mikro pada frekuensi rendah, sehingga meningkatkan nilai ϵ' . Sebaliknya, molekul air tidak lagi dapat mengikuti getaran gelombang mikro pada frekuensi tinggi dan tenaga akan hilang sebagai haba dan menghasilkan nilai ϵ'' yang lebih rendah. Selanjutnya, bagi sifat dielektrik kehilangan dielektrik (*dielectric loss*), ϵ'' , ia secara amnya menurun dengan frekuensi, kemudian meningkat sedikit ketika frekuensi mendekati 8,5 GHz [*Rajah 1(b)*]. Dengan nilai ϵ' dan ϵ'' menurun berkadar terus dengan dengan menurunnya nilai kandungan kelembapan pada masa perkembangan kematangan tembikai yang berbeza, ini menyokong dapatan kajian oleh Nelson et. al pada 2015 yang menyatakan sifat dielektrik makanan menurun dengan cepat dengan penurunan kadar kelembapan. Selanjutnya, Venkatesh dan Raghavan pada 2005 menyatakan nilai permittiviti bergantung terutamanya pada kadar kelembapan yang dipengaruhi oleh frekuensi, suhu, ketumpatan dan ukuran sampel.



Rajah 1. (a) Pengukuran pemalar elektrik terhadap kandungan kelembapan tembikai
(b) Pengukuran kehilangan elektrik terhadap kandungan kelembapan tembikai

Perbandingan sifat dielektrik antara pengukuran pada permukaan dan tisu dalaman tembikai

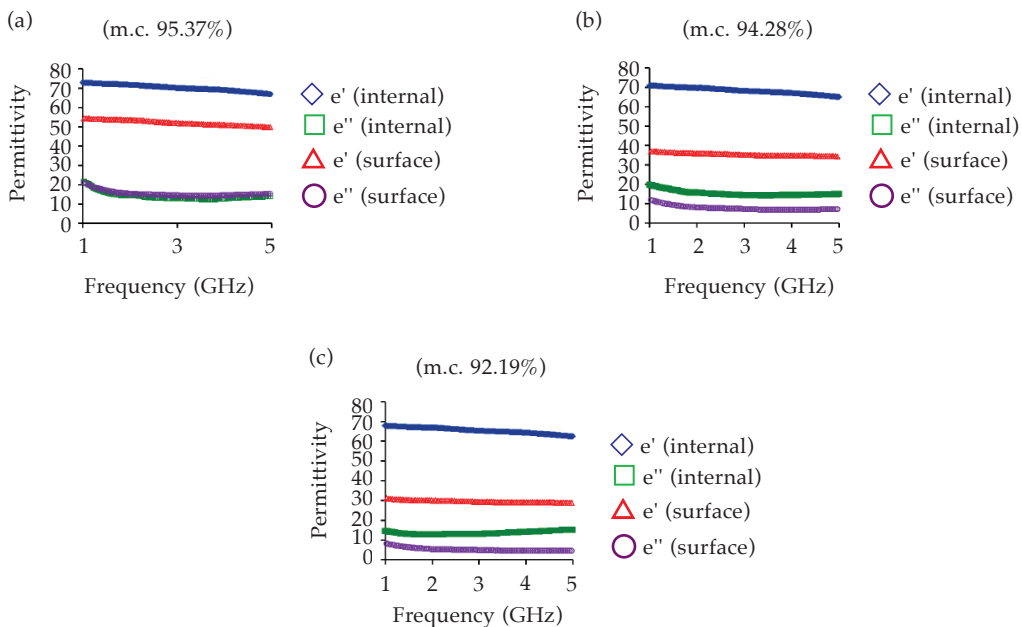
Dalam menyokong dan membuktikan keberkesanan aplikasi penggredan tembikai melalui sifat dielektrik ini, pengukuran nilai ketelusan (*permittivity*) bagi pengukuran pada permukaan luar dan tisu dalaman tembikai telah dijalankan. Uji kaji dijalankan pada sampel tembikai pada tiga peringkat perkembangan buah iaitu belum matang, setengah matang dan matang. Bersandarkan pada Rajah 2(a) (peringkat belum matang), (b) (peringkat separa matang) dan (c) (peringkat matang) dapat diperhatikan perbezaan yang ketara bagi nilai pemalar dielektrik dan kehilangan dielektrik untuk pengukuran pada permukaan tembikai dan tisu dalaman menuju tahap matang (menuju rendah m.c.). Sifat dielektrik daripada pengukuran permukaan mempunyai nilai yang lebih rendah daripada tisu dalaman dan dapatan ini adalah seperti yang dinyatakan oleh Nelson et al. pada 2008. Pengukuran permukaan dan dalaman menunjukkan trend yang serupa dengan nilai frekuensi. Tisu dalaman tembikai mempunyai kandungan

kelembapan yang lebih tinggi berbanding dengan permukaan sehingga menghasilkan nilai ϵ' dan ϵ'' yang lebih tinggi.

Pembentukan model persamaan penentuan (*calibration equation model*)

Dalam menentukan ketepatan menilai kematangan tembikai melalui teknik tanpa musnah menggunakan sifat dielektrik ini, persamaan penentuan (*calibration equation*) telah dibentuk untuk meramalkan kandungan kelembapan tembikai daripada pengukuran sifat dielektrik di permukaan tembikai pada tiga frekuensi yang dipilih iaitu 1.0, 3.0 dan 5.0 GHz. Seperti yang ditunjukkan dalam *Jadual 2* untuk ϵ' dan *Jadual 3* untuk ϵ'' . Pekali regresi, R^2 daripada persamaan penentuan untuk ϵ' adalah yang terbesar iaitu 0.8421 pada frekuensi tertinggi 5.0 GHz tetapi sebaliknya untuk ϵ'' dengan nilai $R^2 = 0.4213$. Dalam kes ini, ia menunjukkan nilai R^2 yang tinggi mewakili kolerasi yang tinggi antara sifat dielektrik dengan kandungan kelembapan tisu dalam tembikai.

Ketepatan model penentuan dalam meramalkan kandungan kelembapan tembikai diukur dengan membandingkan nilai kandungan kelembapan yang ditentukan melalui sifat dielektrik yang diukur dengan nilai kelembapan sebenar yang dijana secara kaedah pengeringan gelombang mikro mengikut kaedah piawaian AOAC. Nilai ketepatan ditentukan melalui peratusan ralat relatif sebagaimana persamaan no. (2) di bawah:



Rajah 2. Graf ketelusan (permittivity) yang diukur pada permukaan dan tisu dalaman pada peringkat pertumbuhan (a) belum matang, (b) separa matang dan (c) matang sampel tembikai

$$\text{Relative error} = \frac{\text{m.c.}_{\text{actual}} - \text{m.c.}_{\text{predicted}}}{\text{m.c.}_{\text{actual}}} \dots\dots\dots(2)$$

Yang mana, *Relative error* : Ralat relatif
M.C actual : M.C sebenar (pengukuran daripada kaedah pengeringan oven)
M.C predicted : M.C yang diramal daripada model persamaan penentukuran

Dengan merujuk *Jadual 2* dan *Jadual 3* dapat diperhatikan persamaan penentukuran bagi ϵ' dan ϵ paling tepat adalah pada frekuensi 1.0 GHz dengan ralat relatif minimum masing-masing 2.7% dan 2.1%. Oleh itu, dapat disimpulkan bahawa persamaan paling tepat untuk meramalkan m.c. dalam sampel tembikai berdasarkan pengukuran ketelusan, *permittivity* (ϵ' dan ϵ) adalah pada 1.0 GHz.

Jadual 2. Persamaan penentukuran (*calibration equation*) yang berhubung kait antara pemalar dielektrik, ϵ'' dan kandungan kelembapan (% m.c.)

Frekuensi (GHz)	Persamaan penentukuran (<i>calibration equation</i> , ϵ')	R2	Purata sisihan relatif (%)
1.0	m.c. = 0.0001 ϵ'^3 - 0.0190 ϵ'^2 + 1.3215 ϵ' + 66.4977	0.8072	2.7
3.0	m.c. = -0.0004 ϵ'^3 + 0.0340 ϵ'^2 - 0.7149 ϵ' + 92.8025	0.8232	6.0
5.0	m.c. = -0.0009 ϵ'^3 + 0.0892 ϵ'^2 - 2.7042 ϵ' + 116.4762	0.8241	8.0

Jadual 3. Persamaan penentukuran (*calibration equation*) yang berhubung kait antara kehilangan dielektrik, ϵ'' dan kandungan kelembapan (% m.c.)

Frekuensi (GHz)	Persamaan penentukuran (<i>calibration equation</i> , ϵ'')	R2	Purata sisihan relatif (%)
1.0	m.c. = 0.0236 ϵ''^2 - 0.5120 ϵ'' + 95.2378	0.5828	2.1
3.0	m.c. = 0.0615 ϵ''^2 - 0.9164 ϵ'' + 95.9222	0.4213	2.2
5.0	m.c. = 0.0293 ϵ''^2 - 0.324 ϵ'' + 93.5811	0.3908	3.0

Cadangan dan rekomendasi

Sebagai cadangan dalam mengetengahkan teknik yang lebih berkesan dalam penggredan tembikai adalah melalui aplikasi penggunaan robotik. Aplikasi robotik berupaya meningkatkan efisien dan produktiviti selain melindungi pekerja daripada pekerjaan yang berulang dan mendatangkan risiko keselamatan kepada manusia. Salah satu kajian MARDI yang seterusnya adalah implementasi penggunaan robot industri dalam pembangunan sistem penggredan tembikai. Ini melibatkan penggunaan robot industri jenis *Articulate Robot* seperti lengan robotik yang mempunyai sendi berputar untuk melakukan penggredan tembikai. Sendi berputar ini akan digerakkan oleh *servo motor* yang

berperanan dalam mengelaskan tembikai mengikut saiz dan berat sebagaimana ketetapan gred tembikai piawai yang ditetapkan oleh pihak SIRIM. Pembangunan sistem penggredan menggunakan aplikasi robotik ini juga akan mampu mencegah kecederaan dalaman buah dan sekali gus dapat menjamin kualiti tembikai yang bertaraf premium bagi pasaran eksport keluar negara. Penggunaan lengan robot juga akan menjimatkan ruang operasi penggredan tembikai jika dibandingkan dengan penggunaan sistem *conveyor*.

Bibliografi

- FAO Statistics (2019). Global Production of Fresh Watermelon: Code 0567 (Watermelons)
- Liu, W., Zhao, S., Cheng, Z., Wan, X., Yan, Z. dan King, S.R. (2010). Lycopene and citrulline contents in watermelon (*Citrullus lanatus*) fruit with different ploidy and changes during fruit development. *Acta Horticulturae* 871: 543 – 550
- Maimunah, M.A (2017). *Characterization of optical parameters in seeded and seedless watermelon using laser-induced backscattering imaging*. Thesis submitted for Master of Science, Universiti Putra Malaysia
- M. Sairi, N. Suhaime, Z. Abbas, N.B. Mohamed Nafis, A.S. Mhd Adnan, A.R. Shamsulkamal dan Z. Othman (2020). Open-ended coaxial sensor for the assessment of physicochemical and dielectric properties of watermelon. *ASM Science Journal.*, 13, Special Issue 4, 2020 for NCAFM2018, 9 – 19
- Perkins-Veazie, P. dan Collins, J.K. (2004). Flesh quality and lycopene stability of fresh-cut watermelons. *Postharvest Biology and Technology* 31(2): 15 – 166
- R. Abbaszadeh, A. Rajabipour, M. Delshad, M.J. Mahjub, H. Ahmadi (2011)., Prediction of watermelon consumer acceptability based on vibration response spectrum., *World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Agricultural and Biosystems Engineering* Vol: 5(6): 365 – 368
- R. Abbaszadeh, A. Moosavian, G. Najafi, A. Rajabipour (2015). An intelligent procedure for watermelon ripeness detection based on vibration signals. *Journal of Food Science Technology* 52(2): 1075 – 1081
- Sabeetha, S., Amin, I. dan Nisak, M.B. (2017). Physico-chemical characteristics of watermelon in Malaysia. *Journal of Tropical Agriculture and Food Science* 45(2): 209 – 223
- Saripa Rabiah S.M.T (2018). Non-destructive assessment of the internal quality of watermelon using ultra violet near-infrared spectroscopy. Thesis submitted for Master of Science, Universiti Putra Malaysia
- Statistik Tanaman (2020)., *Subsektor Tanaman Makanan*. Jabatan Pertanian Malaysia

- Tlili, I., Hdider, C., Lenucci, M.S., Ilahy, R., Jebari, H., Dalessandro, G. (2011). Bioactive compounds and antioxidant activities during fruit ripening of watermelon cultivars. *Journal of Food Composition and Analysis* 24(7): 923 – 928
- W. Zeng, X. Huang, S. Mu"ller Arisona, I.V. McLoughlin (2013). Classifying watermelon ripeness by analysing acoustic signals using mobile devices,. *Personal and Ubiquitous Computing* 18: 1753 – 1762
- Yau, E.W., Rosnah, S., Noraziah, M., Chin, N. L. dan Osman, H. (2010). Physico-chemical compositions of the red seedless watermelons (*Citrullus lanatus*). *International Food Research Journal* 17: 327 – 334

Ringkasan

Teknik tanpa musnah dalam penilaian kualiti dalaman tembikai melalui penggunaan sensor koaksial terbuka untuk penilaian sifat fizikokimia dan dielektrik tembikai telah dikaji. Sifat fizikokimia seperti kandungan kelembapan (% m.c.) dan kandungan pepejal terlarut (SSC) mempunyai hubungan kolerasi dengan tempoh kematangan buah tembikai iaitu belum matang, separa matang dan matang. Sifat fizikokimia ini boleh digunakan sebagai indikator untuk menentukan peringkat kematangan buah tembikai. Namun dalam kajian ini, kandungan kelembapan (% m.c.) sahaja digunakan sebagai indikator untuk menentukan peringkat kematangan buah tembikai. Daripada keputusan kajian di atas, terdapat nilai hubungan korelasi antara sifat dielektrik dan sifat fizikokimia seperti kandungan kelembapan buah tembikai, serta juga terdapat nilai hubungan korelasi antara sifat fizikokimia seperti kandungan kelembapan buah tembikai dengan tahap kematangan buah tembikai. Maka dapat dibuat kesimpulan bahawa sifat dielektrik buah tembikai boleh digunakan untuk menentukan tahap kematangan buah tembikai seperti belum matang, separa matang dan matang. Penentuan tahap kematangan dan kandungan kelembapan buah tembikai dilaksanakan dengan menggunakan nilai sifat dielektrik buah tembikai pada frekuensi 1 GHz. Melalui persamaan penentukuran ($m.c. = 0.0001 \epsilon'^3 - 0.0190 \epsilon'^2 + 1.3215 \epsilon' + 66.4977$ dan $m.c. = 0.0236 \epsilon''^2 - 0.5120 \epsilon'' + 95.2378$), nilai sifat dielektrik buah tembikai digunakan untuk menentukan kandungan kelembapan buah tembikai dan seterusnya dapat menentukan tahap kematangan buah tembikai. Justeru, kajian yang telah dilakukan MARDI berkaitan sifat dielektrik ini boleh dijadikan sebagai teknik tanpa musnah yang berpotensi dalam pemeriksaan awal kualiti buah tembikai sekali gus membantu dalam aktiviti penggredan tembikai yang lebih moden dan tepat.

Summary

Non-destructive technique in the evaluation of the internal quality of watermelon through the use of open ended coaxial probe sensors for the evaluation of the physicochemical and dielectric properties of watermelon was studied. Physicochemical properties such as moisture content (% m.c.) and solid soluble content (SSC) have a correlation with the maturity level of watermelon fruit that is immature, semi-mature and mature. These physicochemical properties can be used as an indicator to determine the stage of maturity of watermelon fruit. However, in this study, only the moisture content (% m.c.) was used as an indicator to determine the level of maturity of watermelon. From the results of the above study, there is a correlation between dielectric properties and physicochemical

properties such as moisture content of watermelon, and there is also a correlation between physicochemical properties such as moisture content of watermelon with maturity. It can be concluded that the dielectric properties of watermelon can be used to determine the level of maturity of watermelon such as immature, semi-mature and mature. Determination of maturity level and moisture content of watermelon was carried out by using the value of dielectric properties of watermelon at a frequency of 1 GHz. Through the calibration equation ($mc = 0.0001 \epsilon'^3 - 0.0190 \epsilon'^2 + 1.3215 \epsilon' + 66.4977$ and $mc = 0.0236 \epsilon''^2 - 0.5120 \epsilon'' + 95.2378$), the value of the dielectric properties of watermelon is used to determine the moisture content of watermelon and subsequently to determine the degree of maturity of watermelon fruit. Thus, the study conducted by MARDI in related to dielectric properties can be used as a potential non-destructive technique in the inspection of watermelon quality and then to help the watermelon grading activities to be more modern and accurate.

Pengarang

Amir Syariffuddeen Mhd Adnan
 Pusat Penyelidikan Padi dan Beras, Ibu Pejabat MARDI, Persiaran MARDI-UPM
 43400 Serdang, Selangor
 E-mel: asyariff@mardi.gov.my

Badaruzzaman Mohd Noh
 Pusat Penyelidikan Padi dan Beras, Ibu Pejabat MARDI, Persiaran MARDI-UPM
 43400 Serdang, Selangor

TS Dr. Masniza Sairi
 Pusat Penyelidikan Kejuruteraan
 Ibu Pejabat MARDI, Persiaran MARDI-UPM, 34300 Serdang, Selangor