

Penilaian keberkesanan teknologi pemprosesan tekanan tinggi untuk meningkatkan kualiti mikrobiologi dalam analog keju berasaskan tumbuhan

(Evaluation of high pressure processing technology efficiency to enhance microbiological quality of plant-based cheese analogue)

Raja Arief Deli Raja Nasharuddin, Aida Hamimi Ibrahim, Nur Ilida Mohamad, Wan Nur Zahidah Wan Zainon, Mohd Izwan Mohd Lazim, Hafiz Aizat Yanan, Ahmad Huzairi Imam Musaniff, Norhida Arnieza Muhsin dan Nik Mohd Faiz Che Mohd Noor

Kata kunci: analog keju, kualiti mikrobiologi, pemprosesan tekanan tinggi, penilaian teknologi

Pengenalan

Sistem makanan global dan tabiat pemakanan kini berubah ke arah makanan berasaskan tumbuhan sebagai alternatif kepada makanan berasaskan haiwan. Hal ini disebabkan beberapa faktor seperti peningkatan kesedaran terhadap manfaat kesihatan makanan berasaskan tumbuhan, peningkatan gaya hidup vegetarian dan bilangan pengguna yang mempunyai alahan laktosa serta kebimbangan pengguna terhadap kelestarian alam sekitar dan kebajikan haiwan. Makanan berasaskan tumbuhan mampu menjana pertanian yang lebih mampan melalui pengurangan pelepasan gas rumah hijau, penggunaan tanah yang lebih cekap dan kos pengeluaran yang lebih rendah. Di samping itu, kajian terkini telah menunjukkan permintaan pasaran bagi makanan berasaskan tumbuhan dijangka meningkat sebanyak USD104,707.43 pada tahun 2032, dengan peratusan 10.79% *Consumer Annual Growth Rate* (CAGR) sepanjang tahun 2023 hingga 2032. Tinjauan industri juga menunjukkan susu berasaskan tumbuhan seperti analog susu dan pengganti produk berasaskan susu seperti analog keju mempunyai penerimaan pasaran yang tinggi dalam kalangan pengguna masing-masing sebanyak 85% dan 51%.

Berdasarkan *Codex Alimentarius*, analog keju adalah produk yang dihasilkan dengan mencampurkan protein atau lemak bukan tenusu seperti soya, minyak kelapa serta aditif tambahan lain bagi menyerupai rasa keju tradisional berasaskan tenusu. Analog keju bukan sahaja menawarkan pilihan sihat kepada semua lapisan pengguna dari segi khasiat tinggi protein, tinggi serat pemakanan, rendah lemak dan mengandungi sebatian aktif, ia juga memberi sekuriti nutrisi kepada pengguna vegetarian, fleksitarian dan *ovo-vegetarian* (diet yang terdiri daripada sumber tumbuhan termasuk produk telur, tetapi tidak mengambil produk tenusu). Analog keju juga bebas daripada sumber tidak halal seperti renet berasaskan haiwan yang tidak disembelih atau alkohol yang ditambah dalam sesetengah keju import. Kajian literatur juga melaporkan pengguna berpendapat analog keju adalah lebih sihat berbanding dengan keju tradisional berdasarkan profil nutrisinya dan ini meningkatkan lagi daya tarikannya sebagai makanan

berfungsi. Ini juga sejajar dengan kepentingan makanan berfungsi dalam pencegahan penyakit dan pengukuhan sistem imunisasi dalam usaha mengurangkan risiko penyakit tidak berjangkit (NCD).

Walaupun trend peningkatan makanan berasaskan tumbuhan ini positif, aspek keselamatan mikrobiologi tidak boleh diabaikan. Analog keju mempunyai pH yang hampir neutral dan nilai kandungan aktiviti air, A_w sekitar 0.90 iaitu agak tinggi dan amat sesuai bagi pertumbuhan bakteria perosak dan patogen bawaan makanan. Beberapa insiden keracunan makanan telah dilaporkan yang melibatkan analog keju berasaskan kacang gajus seperti *Salmonella* Stanley di Amerika Syarikat pada tahun 2014 dan *Salmonella* Weltevreden di British Colombia pada tahun 2017. Tambahan, patogen *Bacillus cereus* dan *Bacillus licheniformis* mampu hadir dalam bahan mentah yang digunakan dalam produk makanan berasaskan tumbuhan manakala patogen *Listeria monocytogenes* mampu hidup dalam produk analog keju jika berlaku pencemaran silang semasa penyimpanan suhu sejuk dingin jika titik kawalan kritikal (CCP) produk adalah tidak dikawal. Justeru, terdapat keperluan penyelidikan saintifik dari perspektif mikrobiologi bagi membangunkan analog keju berasaskan tumbuhan yang selamat dimakan dan juga mempunyai tempoh jangka hayat yang lebih lama.

Lazimnya, jangka hayat analog keju artisanal atau makanan sediaan di rumah hanya sekitar lima hari sahaja pada penyimpanan suhu sejuk dingin ($2\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 7\text{ }^{\circ}\text{C}$) menyebabkan degradasi kualiti yang cepat. Justeru, teknologi pemprosesan tekanan tinggi (HPP) dikaji sebagai kaedah alternatif pemprosesan tanpa haba bagi menghasilkan produk analog keju yang selamat dan kualiti yang terjamin. Kajian saintifik yang telah dijalankan melaporkan HPP mampu memberikan perlindungan nutrien dan kualiti sensori serta jaminan keselamatan efektif kepada pelbagai jenis produk makanan dan minuman. Selain itu, HPP dilaporkan sangat berkesan bagi produk makanan yang telah mempunyai pembungkusan lengkap dan mempunyai kandungan aktiviti air, A_w tinggi namun aplikasi HPP dalam pasaran analog keju berasaskan tumbuhan masih belum banyak diterokai. Justeru, penentuan parameter optimum HPP bagi analog keju berasaskan tumbuhan akan divalidasi berdasarkan penilaian kualiti mikrobiologi dalam kajian ini. Pemerkasaan parameter pemprosesan HPP adalah penting bagi menjamin tiada pertumbuhan mikroorganisma berbahaya dalam analog keju serta mampu memberi manfaat secara langsung kepada industri makanan bagi laluan akses pasaran dan perniagaan baharu.

Penghasilan analog keju berasaskan tumbuhan

Dalam kajian ini, sumber utama analog keju iaitu kacang soya dan kacang kuda telah dibeli dari pasaran komersial. Sumber kekacang ini diberi prarawatan secara kaedah rebusan ($90\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$) selama 10 minit diikuti oleh rendaman dalam air suhu sejuk dingin ($4\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$) selama lapan jam. Melalui kaedah ini, kontaminasi mikrob pada bahan mentah dapat dielakkan dan sumber kekacang tidak melalui zon suhu bahaya yang dapat meningkatkan risiko pertumbuhan mikrobiologi. Kemudian, kacang soya dan kacang kuda dikisar dalam peralatan

pengisar makanan sehingga menjadi adunan yang homogen di Loji Perintis Pusat Penyelidikan Sains dan Teknologi Makanan, MARDI. Selepas itu, adunan kekacang dicampurkan dengan bakteria asid laktik mengikut formulasi optimum yang ditetapkan dalam kajian terdahulu. Hasil adunan ini dimasukkan ke dalam *cheese cloth* yang telah steril lalu diperah bagi mengurangkan kandungan air. Seterusnya, adunan dimasukkan ke dalam bekas bertutup yang steril dan difermentasi pada suhu bilik ($27\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$) selama 8 jam.

Amalan kebersihan serta pemakaian peralatan perlindungan peribadi (PPE) semasa penyediaan sampel dipastikan dipatuhi bagi mengelakkan daripada berlakunya kontaminasi silang. Selepas proses fermentasi, adunan dicampurkan bersama yis, garam, serbuk bawang merah, serbuk bawang putih serta campuran herba mengikut julat yang ditetapkan bagi menghasilkan analog keju. Hasil campuran ini disimpan di dalam bekas bertutup yang steril di dalam suhu sejuk dingin ($4\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$) selama 12 jam. Seterusnya, analog keju dipek ke dalam pembungkusan gred makanan (*Nylon PE Plastic*) secara vakum berisi padu 80 g (*Gambar 1*). Kemudian, analog keju dibawa ke Loji Perintis Pemprosesan di Universiti Putra Malaysia (UPM) dalam keadaan sejuk dingin menggunakan kotak polisterina bertutup bersama ais sebelum dimasukkan ke dalam Unit HPP (*Hiperbaric 55*, Burgos, Spain) bagi proses rawatan HPP pada suhu pemprosesan $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (*Gambar 2*). Dalam kajian ini, pengoptimuman parameter pemprosesan bagi analog keju ditentukan dengan menggunakan kaedah *response surface methodology* (RSM) melalui perisian *Design Expert* di mana dua faktor parameter diuji iaitu tekanan dan masa manakala respons bagi kajian ini adalah kandungan mikrobiologi (jumlah kiraan plat, kiraan koliform dan *Staphylococcus aureus*). Tekanan yang digunakan ialah 2,000 Bar, 4,000 Bar dan 6,000 Bar masing-masing selama 3 minit, 4.5 minit dan 6 minit. Selepas rawatan HPP, sampel kajian dibawa dan diuji secepat mungkin di Makmal Biohazard, MARDI bagi tujuan analisis mikrobiologi di sepanjang tempoh pelaksanaan kajian iaitu sekitar April 2024 hingga Jun 2024. Kesemua eksperimen bagi sampel rawatan HPP dan sampel kawalan (tidak dikenakan rawatan HPP) telah dijalankan sebanyak tiga replikasi.



Gambar 1. Analog keju yang telah dipek ke dalam pembungkusan vakum dengan material plastik Nylon PE



Gambar 2. Pemprosesan tekanan tinggi (HPP) di Loji Perintis Pemprosesan, Universiti Putra Malaysia (UPM)

Kaedah penilaian kualiti mikrobiologi analog keju

Bagi tujuan penyediaan sampel homogen untuk analisis mikrobiologi, sebanyak 10 g daripada sampel analog keju yang disediakan itu telah dipindahkan ke dalam 90 mL larutan *Ringers* yang steril dan pencairan bersiri desimal sepuluh telah dilakukan melibatkan lima pencairan sampel yang berturutan iaitu pencairan bersiri desimal kosong hingga empat. Analisis mikrobiologi yang dijalankan merangkumi kiraan jumlah plat (TPC), kiraan yis dan kulat, koliform, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* serta kiraan bakteria asid laktik. Bagi kiraan koliform dan *E. coli*, sebanyak 1 mL daripada setiap pencairan dipindahkan ke atas 3MTM PetrifilmTM dan diratakan menggunakan alat perebak plastik yang steril lalu dieram di dalam inkubator pada suhu 37 °C selama 24 – 48 jam ± 2 jam. Selepas tempoh penderaman, koloni yang tumbuh pada permukaan 3MTM PetrifilmTM dikira dan keputusan analisis direkodkan sebagai unit pembentuk koloni bagi setiap gram sampel (CFU/g).

Seterusnya, bagi TPC, kiraan yis dan kulat serta bakteria asid laktik pula, sebanyak 1 mL daripada setiap pencairan dipindahkan ke dalam piring Petri sebelum masing-masing dicurahkan dengan *Plate Count Agar* (PCA) bagi TPC, *Potato Dextrose Agar* (PDA) yang telah ditambah dengan 10% asid tartarik bagi kiraan yis dan kulat dan *de Man Rogosa Sharpe Agar* (MRS). Ketiga-tiga agar yang dicurahkan tersebut adalah agar cair yang suhunya telah terlebih dahulu ditetapkan pada 50 °C ± 2 °C. Selain itu, bagi kiraan *S. aureus* pula, sebanyak 0.1 mL daripada setiap pencairan dipindahkan ke dalam piring Petri yang mengandungi agar keras *Baird Parker Agar* (BPA) dengan tambahan *Egg Yolk Tellurite Emulsion*. Kemudian, sampel diratakan di atas agar keras BPA dengan menggunakan kaca perebak yang steril. Kesemua piring Petri dieram di dalam inkubator pada suhu 32 °C selama 72 jam ± 2 jam bagi kiraan jumlah yis serta kulat dan 37 °C selama 48 jam ± 2 jam bagi kiraan *S. aureus*. Kiraan koloni yang tumbuh pada setiap agar tersebut kemudiannya dilakukan selepas tempoh penderaman dan keputusan analisis direkodkan sebagai unit pembentuk koloni bagi setiap gram sampel (CFU/g).

Hasil penilaian kualiti mikrobiologi analog keju

Analisis mikrobiologi (*Jadual 1*) menunjukkan sampel kawalan analog keju mencatatkan bacaan TPC yang tinggi iaitu pada aras 10⁶ CFU/g manakala sampel yang diberikan rawatan HPP pada tekanan 2000 Bar selama 3, 4.5 dan 6 minit (SC-1, SC-2 dan SC-6) merekodkan bacaan TPC yang tidak banyak perbezaan ketara masing-masing pada aras 10⁴ CFU/g, 10⁶ CFU/g dan 10⁶ CFU/g. Namun demikian, sampel yang diberikan rawatan HPP pada tekanan 4,000 Bar selama 3, 4.5 dan 6 minit (SC-3, SC-5 dan SC-9) mula menunjukkan penurunan bacaan TPC masing-masing pada aras 10³ CFU/g, 10² CFU/g dan 10² CFU/g. Trend penurunan yang lebih memuaskan didapati pada analog keju yang diberikan rawatan HPP pada tekanan 6,000 Bar selama 3, 4.5 dan 6 minit (SC-4, SC-7 dan SC-8) masing-masing turun 3 log CFU, 4 log CFU dan 6 log CFU, berbanding dengan sampel kawalan. Penurunan sebanyak 6 log ini adalah selari dengan saranan piawaian keselamatan

United States Food and Drug Administration (US FDA). Lazimnya, bacaan TPC digunakan sebagai penanda aras kualiti makanan sebagai maklumat umum berkenaan potensi pencemaran ketika pemprosesan dan penyimpanan produk makanan.

Bacaan kiraan koliform pula mencatatkan 10^3 CFU/g bagi sampel kawalan namun tiada pertumbuhan direkodkan bagi kesemua sampel yang diberikan rawatan HPP pada tekanan 4,000 dan 6,000 Bar membuktikan keberkesanan teknologi HPP. Bacaan koliform masih direkodkan tinggi dalam lingkungan $10^2 - 10^3$ CFU/g bagi sampel yang diberikan rawatan HPP pada tekanan 2,000 Bar. Dari perspektif kualiti kebersihan dan pengendalian makanan, sampel kawalan serta HPP analog keju didapati tidak mengandungi bakteria *E. coli* sepanjang tempoh kajian (*Gambar 3*). Sepanjang kajian ini, aras bacaan bakteria dirujuk kepada *Compendium of Microbiological Criteria for Food* (*Food Standards Australia – New Zealand*) dan *Microbiological Guidelines for Food* (*Centre for Food Safety Hong Kong*) (*Jadual 3*) berikutan Akta Makanan 1983 masih belum mempunyai rujukan rasmi had mikrobiologi bagi kategori analog keju berasaskan tumbuhan.

Berdasarkan *Jadual 2*, bacaan *S. aureus* juga didapati pada aras 10^3 CFU/g bagi sampel kawalan manakala sampel HPP pada tekanan 6000 Bar (SC-4, SC-7 dan SC-8) menunjukkan tiada pertumbuhan patogen bawaan makanan ini. Secara perbandingan, tekanan HPP yang lebih rendah iaitu 4,000 Bar dan 2,000 Bar masih merekodkan bacaan *S. aureus* dalam julat $10^2 - 10^3$ CFU/g, membuktikan lapisan dinding sel lebih tebal yang dimiliki oleh patogen tahan tekanan ini memerlukan tekanan yang lebih tinggi bagi perencatan pertumbuhan. Kulat pula mampu hidup secara semula jadi pada produk keju namun melalui kajian yang dijalankan, tiada pertumbuhan yis dan kulat didapati pada sampel kawalan. Manakala terdapat pertumbuhan yis pada aras 10^6 CFU/g dan 10^2 CFU/g pada sampel yang diberikan rawatan HPP pada tekanan 2,000 Bar masing-masing selama 4.5 dan 6 minit. Namun, tidaklah begitu membimbangkan di mana tiada pertumbuhan yis dan kulat direkodkan pada kesemua sampel yang diberikan tekanan HPP lebih tinggi iaitu 4,000 Bar dan 6,000 Bar.

Berdasarkan rujukan piawaian antarabangsa, julat memuaskan bagi TPC, kiraan koliform, *E. coli* dan *S. aureus* ialah $<10^6$ CFU/g, $<10^2$ CFU/g, <20 CFU/g dan $<10^2$ CFU/g bagi *Centre for Food Safety Hong Kong* manakala Tidak Berkenaan (TB) CFU/g, $<10^2$ CFU/g, <3 CFU/g dan $<10^2$ CFU/g bagi *Food Standards Australia – New Zealand*. Justeru, data bagi kesemua analisis mikrobiologi menunjukkan sampel analog keju adalah selamat untuk dimakan pada parameter HPP 6,000 Bar selama 6 minit. Analog keju yang disimpan pada suhu sejuk dingin ini didapati mencatatkan tiada pertumbuhan mikroorganisma perosak dan bakteria patogen, malah masih mengandungi bakteria baik daripada kumpulan bakteria asid laktik. Walaupun selepas rawatan HPP pada 6,000 Bar selama 6 minit, analog keju masih mengandungi bakteria asid laktik pada nilai bacaan 10^2 CFU/g. Bakteria asid laktik adalah sekumpulan bakteria Gram positif yang mempunyai dinding sel yang lebih tebal berbanding dengan bakteria daripada jenis Gram negatif. Walaupun dalam beberapa jenis makanan lain seperti daging segar,

kehadiran bakteria asid laktik menjadi penunjuk kepada kerosakan produk yang menyebabkan penurunan kualiti, namun kehadirannya dianggap normal bagi produk difermentasi seperti analog keju ini (*Gambar 4*). Bagi produk terfermentasi, bakteria asid laktik boleh hadir sebagai bakteria semula jadi atau juga boleh hadir sebagai kultur pemula yang dimasukkan secara sengaja bagi tujuan fermentasi yang turut akan memberikan nilai tambah komersial kepada produk seumpamanya.



Gambar 3. Keputusan mikrobiologi analog keju dibaca melalui alat penghitung koloni



Gambar 4. Analog keju berasaskan tumbuhan hasil penyelidikan MARDI

Pengoptimuman parameter HPP melalui penilaian tindak balas mikrobiologi

Secara keseluruhannya, pengoptimuman parameter pemprosesan HPP bagi analog keju telah dilaksanakan berdasarkan kaedah RSM di mana penentuan jumlah kiraan plat, koliform dan *S. aureus* dipilih sebagai penilaian tindak balas atau respons mikrobiologi dalam kajian ini. Setelah memasukkan nilai julat bagi setiap tindak balas kajian ke dalam perisian *Design Expert*, parameter optimum kajian iaitu 6000 Bar selama 6 minit telah dijana dengan nilai *desirability* 1.000.

Kesimpulan

Secara keseluruhannya, penilaian mikrobiologi terhadap analog keju menunjukkan pengoptimuman parameter HPP berjaya dicapai pada tekanan 6,000 Bar selama 6 minit. Tiada pertumbuhan bakteria perosak dan patogen bawaan makanan direkodkan selari dengan keperluan piawaian antarabangsa menunjukkan keberkesanan teknologi HPP. Kajian lanjutan akan dilaksanakan yang melibatkan ujian sebatian aktif merangkumi asid lemak dan amino asid, serta ujian jangka hayat merangkumi aspek sensori, mikrobiologi dan fizikokimia termasuklah profil tekstur bagi analog keju sepanjang tempoh penyimpanan bagi mendapatkan data kajian yang lebih menyeluruh.

Jadual 1. Kandungan mikroba penunjuk kebersihan dan bakteria baik (bakteria asid laktik) pada sampel analog keju selepas rawatan HPP

Analisis/ Kod rawatan	Rawatan HPP pada tekanan (Bar)/masa (minit)	Kiraan jumlah bakteria (CFU/g) [log ₁₀ CFU/g]	Kiraan yis dan kulat (CFU/g) [log ₁₀ CFU/g]	Kiraan koliform (CFU/g) [log ₁₀ CFU/g]	Kiraan bakteria asid laktik (CFU/g) [log ₁₀ CFU/g]
Kawalan	T/B	2.7 × 10 ⁶ [6.431]	<1 × 10 ² [0.000]	1.6 × 10 ³ [3.204]	8.0 × 10 ⁶ [6.903]
SC-1	2000/3	2.6 × 10 ⁴ [4.415]	<1 × 10 ² [0.000]	2.4 × 10 ² [2.380]	2.4 × 10 ³ [3.380]
SC-2	2000/4.5	4.3 × 10 ⁶ [6.633]	2.5Y × 10 ⁶ [6.398]	2.0 × 10 ³ [3.301]	3.5 × 10 ⁶ [6.544]
SC-3	4000/3	2.2 × 10 ³ [3.342]	<1 × 10 ² [0.000]	<1 × 10 [0.000]	1.6 × 10 ² [2.204]
SC-4	6000/3	2.8 × 10 ³ [3.447]	<1 × 10 ² [0.000]	<1 × 10 [0.000]	1.5 × 10 ² [2.176]
SC-5	4000/4.5	3.4 × 10 ² [2.531]	<1 × 10 ² [0.000]	<1 × 10 [0.000]	3.0 × 10 ² [2.477]
SC-6	2000/6	3.6 × 10 ⁶ [6.556]	1.3Y × 10 ² [2.114]	2.0 × 10 ³ [3.301]	2.0 × 10 ⁴ [4.301]
SC-7	6000/4.5	2.5 × 10 ² [2.398]	<1 × 10 ² [0.000]	<1 × 10 [0.000]	1.1 × 10 ² [2.041]
SC-8	6000/6	<1 × 10 [0.000]	<1 × 10 ² [0.000]	<1 × 10 [0.000]	1.3 × 10 ² [2.114]
SC-9	4000/6	3.6 × 10 ² [2.556]	<1 × 10 ² [0.000]	<1 × 10 [0.000]	2.2 × 10 ² [2.342]

Catatan:
Kawalan = Sampel analog keju tanpa rawatan HPP
SC-1 hingga SC-9 = Sampel analog keju selepas rawatan HPP
T/B = Tidak berkenaan
Y = Bacaan Yis
Setiap bacaan adalah nilai purata bagi analisis sampel secara triplikat

Jadual 2. Kandungan patogen pada sampel analog keju selepas rawatan HPP

Analisis/Kod rawatan	Rawatan HPP pada tekanan (Bar)/masa (minit)	Kiraan <i>Escherichia coli</i> (CFU/g)[log ₁₀ CFU/g]	<i>Staphylococcus aureus</i> (CFU/g)[log ₁₀ CFU/g]
Kawalan	T/B	<1 × 10 [0.000]	2.0 × 10 ³ [3.301]
SC-1	2000/3	<1 × 10 [0.000]	5.4 × 10 ³ [3.732]
SC-2	2000/4.5	<1 × 10 [0.000]	3.0 × 10 ² [2.477]
SC-3	4000/3	<1 × 10 [0.000]	1.3 × 10 ³ [3.114]
SC-4	6000/3	<1 × 10 [0.000]	<1 × 10 ² [0.000]
SC-5	4000/4.5	<1 × 10 [0.000]	2.0 × 10 ³ [3.301]
SC-6	2000/6	<1 × 10 [0.000]	4.7 × 10 ³ [3.672]
SC-7	6000/4.5	<1 × 10 [0.000]	<1 × 10 ² [0.000]
SC-8	6000/6	<1 × 10 [0.000]	<1 × 10 ² [0.000]
SC-9	4000/6	<1 × 10 [0.000]	3.0 × 10 ² [2.477]

Catatan:

Kawalan = Sampel analog keju tanpa rawatan HPP

SC-1 hingga SC-9 = Sampel analog keju selepas rawatan HPP

T/B = Tidak berkenaan

Y = Bacaan Yis

Setiap bacaan adalah nilai purata bagi analisis sampel secara triplikat

Jadual 3. Had kandungan mikroba dalam analog keju mengikut piawaian antarabangsa

Kategori makanan	Analog keju berasaskan tumbuhan				Compendium of Microbiological Criteria for Food (Food Standards Australia – New Zealand)			
	Microbiological Guidelines for Food (Centre for Food Safety Hong Kong)				Colony Forming Unit (CFU/g)			
Had mikrobiologi	Colony Forming Unit (CFU/g)				Colony Forming Unit (CFU/g)			
	Memuaskan	Marginal	Tidak memuaskan	Berpotensi bahaya	Memuaskan	Marginal	Tidak memuaskan	Berpotensi bahaya
Jumlah kiraan plat	<10 ⁶	10 ⁶ - <10 ⁸	≥ 10 ⁸	Tiada	T/B	T/B	T/B	T/B
Kiraan koliform	<10 ²	10 ² - ≤10 ⁴	> 10 ⁴	Tiada	<10 ²	10 ² - ≤10 ⁴	> 10 ⁴	Tiada
<i>Escherichia coli</i>	<20	20 - ≤10 ²	>10 ²	Tiada	<3	3 - ≤10 ²	>10 ²	Tiada
<i>Staphylococcus aureus</i>	<10 ²	10 ² - <10 ³	10 ³ - ≤10 ⁴	>10 ⁴	<10 ²	10 ² - <10 ³	10 ³ - ≤10 ⁴	>10 ⁴

Catatan:
T/B = Tidak berkenaan

Penghargaan

Pengarang merakamkan jutaan terima kasih kepada pasukan pegawai penyelidik dan kakitangan pelaksana yang terlibat dalam kajian ini. Projek ini dibiayai sepenuhnya oleh Geran Projek Ekonomi MADANI, Kementerian Pertanian dan Keterjaminan Makanan (K/GOOM0610).

Bibliografi

- Bachmann, H. P. (2001). Cheese analogues: A review. *International Dairy Journal*, 11, 505–515.
- Codex Alimentarius (2023) Codex Stan 192-1995. General standard for food additives. 01.6.5.
- Compendium of Microbiological Criteria for Food (2018). Food Standards Australia-New Zealand (FSANZ), Section 1, Table 1 – 3.
- Inkwood Research (2023) Global plant-based food and beverage marketforecast 2023-2032.
- Microbiological Guidelines for Food for Ready-To-Eat Food in General and Specific Food Items (2014) Centre for Food Safety Hong Kong, Food and Environmental Hygiene Department.
- Wallace, H. A., & Thomas, H. A. (2001). *Bacteriological Analytical Manual*, Edition 8, Revision A, Chapter 1.

Ringkasan

Penghasilan makanan berasaskan tumbuhan semakin meningkat di peringkat global termasuklah pasaran Asia Pasifik dan Eropah. Malaysia telah menggalakkan usaha inovasi dan pengkomersialan agromakanan berasaskan tumbuhan sebagai produk alternatif protein. Bagi tujuan itu, kajian ini dilaksanakan bagi menilai keberkesanan teknologi pemprosesan tekanan tinggi (HPP) untuk meningkatkan kualiti mikrobiologi analog keju berasaskan tumbuhan. Berdasarkan hasil penilaian mikrobiologi, didapati analog keju berasaskan tumbuhan pada penyimpanan suhu sejuk dingin adalah selamat untuk dimakan melalui parameter HPP pada tekanan 6,000 Bar selama 6 minit. Produk analog keju ini menunjukkan bacaan yang memuaskan dari segi had kandungan mikroorganisma perosak dan patogen bawaan makanan. Menariknya, bakteria asid laktik didapati kekal selepas pemprosesan HPP. Penyelidikan ini menekankan kepentingan data tindak balas kajian mikrobiologi dalam validasi parameter optimum HPP bagi analog keju yang dihasilkan bagi menjamin keselamatan makanan serta menyokong pematuhan piawaian antarabangsa.

Summary

The production of plant-based food is increasing globally, including in the Asia Pacific and European markets. Malaysia has encouraged the innovation and commercialisation of plant-based agro-food as an alternative protein product. For this reason, this study has been carried out to evaluate the HPP technology efficiency to enhance the microbiological quality of plant-based cheese analogue. Based on the results of the microbiological evaluation, plant-based cheese analogue was determined to be safe for consumption using the HPP parameter of 6,000 Bar of pressure for 6 minutes. Cheese analogue product demonstrated satisfactory results in terms of the microbiological limit of spoilage and foodborne pathogens. Interestingly, lactic acid bacteria were found to remain after HPP processing. This research emphasises the importance of microbiological effects study data in the validation of optimal HPP parameters of the developed cheese analogue in order to ensure food safety, nutrition security and international standards compliance.

Pengarang

Raja Arief Deli Raja Nasharuddin
Pusat Penyelidikan Sains dan Teknologi Makanan, Ibu Pejabat MARDI
Persiaran MARDI-UPM, 43400 Serdang, Selangor
E-mel: del@mardi.gov.my

Aida Hamimi Ibrahim (Dr.), Nur Ilida Mohamad (Dr.), Wan Nur Zahidah Wan Zainon,
Mohd Izwan Mohd Lazim, Ahmad Huzairi Imam Musaniff, Norhida Arnieza Muhsin
dan Nik Mohd Faiz Che Mohd Noor
Pusat Penyelidikan Sains dan Teknologi Makanan, Ibu Pejabat MARDI
Persiaran MARDI-UPM, 43400 Serdang, Selangor

Hafiz Aizat Yanan
Pusat Pemindahan Teknologi dan Pembangunan Usahawan
Ibu Pejabat MARDI, Persiaran MARDI-UPM, 43400 Serdang, Selangor

