

**Pengoptimuman Pengekstrakan Lemak Biji Jeruk Mangga (*Mangifera indica* L.)  
Jeruk menggunakan Kaedah Respons Permukaan dan Analisis Lipid**  
(Extraction Optimization of Pickled Mango (*Mangifera indica* L.) Seed Butter using Response Surface Methodology  
and Lipid Analysis)

NORHELALIAH ISA<sup>1</sup>, NOOR-SOFFALINA SOFIAN SENG<sup>1,2</sup>, WAN AIDA WAN MUSTAPHA<sup>1,2\*</sup>, MASTURAH MARKOM<sup>3</sup> &  
NUR AFIQAH MOHD AZHARI<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Jabatan Sains Makanan, Fakulti Sains dan Teknologi, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 UKM Bangi, Selangor  
Darul Ehsan, Malaysia

<sup>2</sup>Innovation Centre for Confectionery Technology (MANIS), Faculty of Science and Technology, Universiti  
Kebangsaan Malaysia, 43600 UKM Bangi, Selangor Darul Ehsan, Malaysia

<sup>3</sup>Jabatan Kejuruteraan Kimia dan Proses, Fakulti Kejuruteraan dan Alam Bina, Universiti Kebangsaan Malaysia,  
43600 UKM Bangi, Selangor Darul Ehsan, Malaysia

Diserahkan: 27 Februari 2022/Diterima: 22 April 2022

ABSTRAK

Sisa biji jeruk mangga (PMS) daripada industri jeruk mangga boleh meningkatkan kos pengeluaran dan pencemaran alam sekitar. Kajian terdahulu mendapati lemak biji mangga boleh dijadikan punca alternatif lemak koko (CBA) dalam penghasilan coklat. Oleh itu, penyelidikan ini dijalankan bagi mengetahui hasil ekstrak optimum lemak biji jeruk mangga (MPB) melalui tiga kaedah pengekstrakan iaitu maserasi, Soxhlet dan pengekstrakan bendalir lampau genting-karbon dioksida (SFE-CO<sub>2</sub>) dengan menggunakan kaedah respons permukaan-reka bentuk komposit berpusat (RSM-CCD). Keputusan parameter optimum adalah seperti berikut; maserasi (262 min, 100 mL heksana dengan 4.40% hasil); Soxhlet (300 min, 150 mL heksana dengan 7.87% hasil) dan SFE-CO<sub>2</sub> (297 bar, 64 °C dengan 6.66% hasil). MPB yang diekstrak daripada semua kaedah dibandingkan dengan lemak koko komersial (CCB). MPB mengandungi asid lemak perlu (EFA) dan omega-3 yang tinggi serta lemak tepu yang rendah berbanding CCB. MPB ekstrak daripada SFE-CO<sub>2</sub> mempunyai asid lemak dan profil pencairan yang hampir sama dengan CCB. SFE-CO<sub>2</sub> juga mengekstrak lebih banyak EFA dan omega-3 ( $p < 0.05$ ) daripada maserasi dan Soxhlet. Oleh itu, MPB ekstrak daripada SFE-CO<sub>2</sub> berpotensi sebagai punca CBA yang terbaik dalam penghasilan coklat.

Kata kunci: Analisis lipid; lemak; pengekstrakan; pengoptimuman

ABSTRACT

Pickled mango seed (PMS), a waste from mango pickle industry could increase cost production and environmental pollution. A previous study found that mango butter could be a cocoa butter alternative (CBA) in chocolate. Hence, a study was conducted to compare mango pickled seed butter (MPB) yield; extracted from MPS through three extraction methods by using response surface methodology-central composite design (RSM-CCD). The optimum extraction conditions were identified as follows; maceration (262 mins, 100 mL hexane with 4.40% yield); Soxhlet (300 mins, 150 mL hexane with 7.87% yield) and supercritical fluid extraction-carbon dioxide (SFE-CO<sub>2</sub>) (297 bar, 64 °C with 6.66% yield). MPB extracted from all types of methods were compared to commercial cocoa butter (CCB). The results showed that MPB contained higher essential fatty acid (EFA) and omega-3 and less saturated fat than CCB. MPB extracted from SFE-CO<sub>2</sub> showed the closest fatty acids composition and melting profiles to CCB. Furthermore, SFE-CO<sub>2</sub> was able to extract more EFA and omega-3 ( $p < 0.05$ ) compared to the maceration and Soxhlet methods. Hence, MPB extracted from SFE-CO<sub>2</sub> could be the best source of CBA in chocolate production.

Keywords: Butter; extraction; lipid analysis; optimization

## PENGENALAN

Keadaan optimum pengekstrakan boleh ditentukan dengan menggunakan Kaedah Permukaan Respons (RSM) melalui aplikasi *Design-Expert Software*. RSM boleh menganggarkan nilai sesuatu faktor yang melibatkan interaksi antara faktor bagi mendapatkan respons (Mohamad Said & Mohamad Amin 2015). Interaksi antara faktor akan memberi kesan yang sama atau berbeza terhadap sesuatu respons. Jika persamaan menunjukkan lengkung kuadratik, kajian tersebut mempunyai keadaan optimum (Battacharya 2021). RSM dengan reka bentuk komposit berpusat (CCD) sering digunakan dalam kajian pengekstrakan kerana pengekstrakan melibatkan banyak faktor seperti suhu, masa, jenis pelarut dan isi padu pelarut. Walau bagaimanapun, Ye et al. (2017) mendapati bahawa Reka Bentuk Box-Behnken (BBD) lebih cekap daripada CCD kerana BBD boleh menggunakan blok dalam uji kaji. Namun, minimum tiga faktor diperlukan untuk menggunakan BBD manakala CCD boleh menerima dua faktor bagi setiap analisis.

Analisis sampel dalam kajian ini melibatkan isirung atau kernel biji jeruk mangga. Mangga (*Mangifera indica* L.) dikelaskan di bawah kelas Magnoliopsida, subkelas Rosidae, order-Sapindales dan keluarga Anacardacea. Genus *Mangifera* L. mempunyai lebih 49 spesies antaranya, *Mangifera foetida* L. dan *Mangifera indica* L. Walau bagaimanapun, hanya *M. indica* L. menghasilkan buah yang boleh diterima oleh pengguna dari segi rasa dan ciri fizikal (Yadav & Sing 2018). Mangga juga merupakan buah tropika yang banyak ditanam dan didagangkan di seluruh dunia selepas pisang (FAOSTAD 2015). Buah mangga mempunyai kandungan nutrisi yang tinggi (Islam et al. 2018). Selain dimakan segar, buah mangga boleh diproses menjadi pelbagai produk seperti jus, jem, halwa dan jeruk.

Jeruk boleh dihasilkan dengan pelbagai kaedah antaranya jeruk kering, jeruk manis, jeruk minyak dan jeruk masin (Saroj 2018). Di Malaysia, industri jeruk mangga melibatkan pemeraman keseluruhan buah mangga muda yang matang (termasuk biji dan kulit) dalam air bertapis yang ditambah dengan garam, gula, cuka dan bahan pengawet. Selepas dua minggu, isi buah mangga dihiris untuk digunakan manakala bijinya dibuang. Walau bagaimanapun, biji buah mangga yang mewakili 40%-50% daripada berat basah buah ini, adalah penyumbang kepada kos tertinggi dalam pengurusan sisa industri jeruk mangga.

Mangga mengandungi minyak atau lemak pada bahagian kernel atau isirungnya. Ciri lemak ini hampir sama dengan lemak koko (Jahurul et al. 2015). Lemak koko pula terkenal dengan kualitinya dalam penghasilan coklat dan merupakan lemak sayuran termahal di dunia (Jin et al. 2017). Namun, tiada kajian terperinci dilakukan terhadap biji mangga yang telah

mengalami proses penjerukan (PMS) bagi mengetahui kebolehan lemak daripada PMS ini sebagai alternatif lemak koko (CBA) dalam penghasilan coklat. Oleh itu, satu kajian perlu dijalankan untuk mengenal pasti peratus kandungan dan ciri lemak yang diperolehi daripada PMS bagi mengurangkan kebergantungan terhadap penggunaan lemak koko. Lemak daripada PMS ini dirujuk sebagai lemak biji jeruk mangga (MPB).

MPB boleh diekstrak menggunakan pelarut bukan polar (tidak larut air). Menurut Sodeifian et al. (2017), pelarut bukan polar seperti heksana boleh mengekstrak minyak daripada tumbuhan. Walau bagaimanapun, n-heksana boleh mengekstrak lebih minyak daripada heksana dengan nilai masing-masing 3.3% (w/v) dan 2.8% (w/v) (Sikdar et al. 2017). Sehubungan itu, n-heksana digunakan untuk mengekstrak MPB melalui kaedah maserasi dan Soxhlet. MPB turut diekstrak menggunakan bendalir lampau-genting (SF) menggunakan gas karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) untuk mengetahui hasil ekstrak yang tertinggi daripada kaedah pengekstrakan yang berbeza. SF adalah keadaan apabila sesuatu pelarut berubah kepada bendalir pada tahap suhu dan tekanan gentingnya (Zhou et al. 2021).

Pengekstrakan SF (SFE) bergantung kepada keterlarutan dan ketumpatan sesuatu bendalir. Kedua-dua faktor ini boleh dikawal dengan mengubah tekanan dan suhu (Hassim et al. 2015). Bendalir dapat menembusi sel-sel tumbuhan dengan mudah seperti gas dan dapat mengekstrak seperti cecair. Pelarut utama dalam SFE adalah gas karbon dioksida (CO<sub>2</sub>). Walaupun ko-pelarut seperti metanol and etanol juga boleh digunakan bersama CO<sub>2</sub> (Khaw et al. 2017), penggunaan CO<sub>2</sub> secara tunggal adalah lebih baik kerana pelarut ini lebih murah, tidak terbakar, boleh dikitar semula, tidak berbau, tiada kesan sampingan dan mempunyai titik lampau-genting yang rendah (31.1 °C pada 73.8 bar) dengan kebolehan ekstrak yang lebih tinggi (ketumpatan 467.6 kg/m<sup>3</sup>). Sebagai perbandingan, titik lampau-genting bagi air adalah tinggi (T<sub>c</sub>= 374 °C, P<sub>c</sub>= 221 bar) dengan ketumpatan yang rendah (322 kg/m<sup>3</sup>). Penggunaan suhu yang rendah dalam pengekstrakan sangat penting bagi melindungi bio-kompaun yang sensitif haba (Hewavitharana et al. 2020). Sehubungan dengan itu, objektif kajian ini adalah untuk menentukan keadaan optimum pengekstrakan MPB melalui kaedah maserasi, Soxhlet dan SFE-CO<sub>2</sub> dengan menggunakan RSM-CCD, seterusnya menentukan komposisi asid lemak dan kelakuan pencairan MPB.

## METOD

### PENYEDIAAN SAMPEL

Sisa PMS diperolehi daripada Pak Ali Food Industries Sdn. Bhd., Pulau Pinang, Malaysia. Sisa tersebut kemudiannya dibawa ke Loji Pandu Makanan, Jabatan

Sains Makanan, Fakulti Sains dan Teknologi, UKM Bangi pada Jun 2020. Sisa PMS kemudiannya dicuci dan direndam dengan air paip semalaman sebelum mengeluarkan kernel. Kernel dihiris kecil dan dijemur seharian di bawah matahari sebelum dikeringkan di dalam relau (Memmert Incubator Oven INB200) semalaman ( $\leq 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), sehingga kelembapan  $\leq 10\%$  sebelum dikisar dengan pengisar kering (Rotating cutter head, Rong Tsong Precision Technology Co. Taiwan) dan ditapis pada saiz 0.5 mm (U.S.A Standard Sieve, No.14). Serbuk kernel disimpan dalam botol kaca gelap pada suhu  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$  sebelum analisis. Lemak koko komersial (CCB) diperoleh daripada Barrey Callebaut Sdn. Bhd. untuk digunakan sebagai analisis kawalan.

PENGEKSTRAKAN MPB KAEDAH MASERASI, SOXHLET DAN SFE-CO<sub>2</sub>

Bagi pengekstrakan maserasi, sampel (10 g) dicampur

dengan n-heksana di dalam botol kaca gelap dan kedap udara dan disimpan mengikut tempoh yang ditetapkan. Isi padu n-heksana dan tempoh pengekstrakan ditunjukkan dalam Jadual 1. Bagi pengekstrakan menggunakan Soxhlet, sampel (10 g) diisi ke dalam tiub selulosa dan ditutup dengan kapas, sebelum diletakkan ke dalam kelalang Soxhlet yang telah disambungkan kepada kelalang bulat berisi n-heksana. Air ditetapkan pada suhu  $90\text{ }^{\circ}\text{C}$  untuk memanaskan n-heksana supaya mencapai takat didihnya ( $69\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Bagi mendapatkan hasil MPB yang tulen daripada kaedah maserasi, campuran serbuk kernel dan n-heksana ditapis terlebih dahulu menggunakan kertas turas, seterusnya dituliskan menggunakan alat penyejatan pelarut berputar selama 15-30 minit.

Pengekstrakan MPB menggunakan SFE-CO<sub>2</sub> skala makmal telah dijalankan di Jabatan Kejuruteraan Kimia dan Proses, Fakulti Kejuruteraan dan Alam Bina, UKM

JADUAL 1. Julat data minimum dan maksimum dua faktor bagi kaedah maserasi, Soxhlet dan SFE-CO<sub>2</sub> yang dicadangkan oleh RSM-CCD

Faktor	Minimum	Maksimum	Julat data oleh RSM-CCD
<i>Kaedah maserasi</i>			
Isi padu n-heksana	50 mL	100 mL	40-100 mL
Tempoh pengekstrakan	60 min	300 min	10-350 min
<i>Kaedah Soxhlet</i>			
Isi padu n-heksana	150 mL	250 mL	40-100 mL
Tempoh pengekstrakan	60 min	300 min	10-350 min
<i>Kaedah SC-CO<sub>2</sub></i>			
Tekanan	130 bar	340 bar	85 - 380 bar
Suhu	$45\text{ }^{\circ}\text{C}$	$75\text{ }^{\circ}\text{C}$	$40 - 80\text{ }^{\circ}\text{C}$

Bangi, Selangor, Malaysia. Alat SFE dibersihkan dengan metanol, diikuti dengan CO<sub>2</sub>, bagi mengelak kontaminasi. Sampel (10 g) dimasukkan ke dalam bekas silinder tahan karat dan ditutup dengan ketat sebelum dipasang ke kolum kapilari tahan karat di dalam relau. Kolum tersebut bersambung dengan aliran CO<sub>2</sub> di luar relau. Pengekstrakan dimulakan dengan setengah jam statik diikuti dengan 5 jam dinamik pada aliran 4 mL/min CO<sub>2</sub>. Julat data yang diletakkan di dalam RSM-CCD perlu melebihi nilai lampau genting;  $31.1\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Tc) dan 73.8 bar (Pc). Faktor lain seperti kapasiti tekanan maksimum bagi alat SFE skala makmal dan sifat fizikal MPB yang boleh membeku pada suhu bilik, turut diambil kira dalam penentuan julat tekanan dan suhu. Penentuan bacaan tekanan dan suhu adalah seperti di Jadual 1.

Pengiraan MPB yang diekstrak adalah seperti persamaan berikut:

$$Y (\%) = \frac{\text{Jumlah ekstrak jisim, MT}}{\text{sampel jisim, F}} \times 100 \quad (1)$$

PENENTUAN KOMPOSISI ASID LEMAK DAN KELAKUAN PENCAIRAN LEMAK

Komposisi asid lemak ditentukan dengan menggunakan alat gas kromatografi (GC-2010 Shimadzu) dengan pengesanan pengionan nyala (FID) dan kapilari kolum silika (polar) HP-5 (0.32 mm i.d.  $\times$  30 m panjang dengan 0.25  $\mu\text{m}$  ketebalan filem). Analisis ini adalah berdasarkan AOCS.Cd8b-90, 2011. Suhu injektor dan

pengesanan diselaraskan masing-masing pada 250 °C dan 270 °C. Manakala, suhu relau juga diselaraskan pada 40 °C selama 5 min sebelum dinaikkan sehingga 220 °C pada 20 °C/min. Sampel adalah dalam bentuk asid lemak metil ester (FAME) yang boleh meruap. FAME diperolehi dengan mencampurkan sampel lemak dengan sodium metoksida sebelum digoncang menggunakan alat vortex selama 10 min bagi menghasilkan dua lapisan. Lapisan atas (FAME) diambil untuk dianalisis. Kandungan (%) asid lemak diperolehi daripada kromatogram.

Kelakuan pencairan lemak MPB dianalisis menggunakan alat Kalorimeter Pengimbasan Pembezaan (DSC 8000- Perkin Elmer, USA. Sampel (3-5 mg) diletakkan ke dalam bekas aluminium, ditutup dan diletakkan ke dalam slot DSC. Kelakuan pencairan ditentukan berdasarkan AOCS.Cd8b-90 (2011).

#### ANALISIS STATISTIK

Kajian pengoptimuman dijalankan menggunakan Design-Expert Software, Versi 7.1.5 dengan RSM-CCD sebagai reka bentuk uji kaji yang mengandungi 13 bilangan uji kaji (melibatkan gabungan dua faktor, empat faktorial, empat aksial dan lima titik berpusat). Bagi lain-lain analisis, ANOVA sehala dipilih untuk menentukan kesignifikanan pada ( $p < 0.05$ ). Perbezaan signifikan diuji dengan Ujian Tukey (Minitab versi 17).

## KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

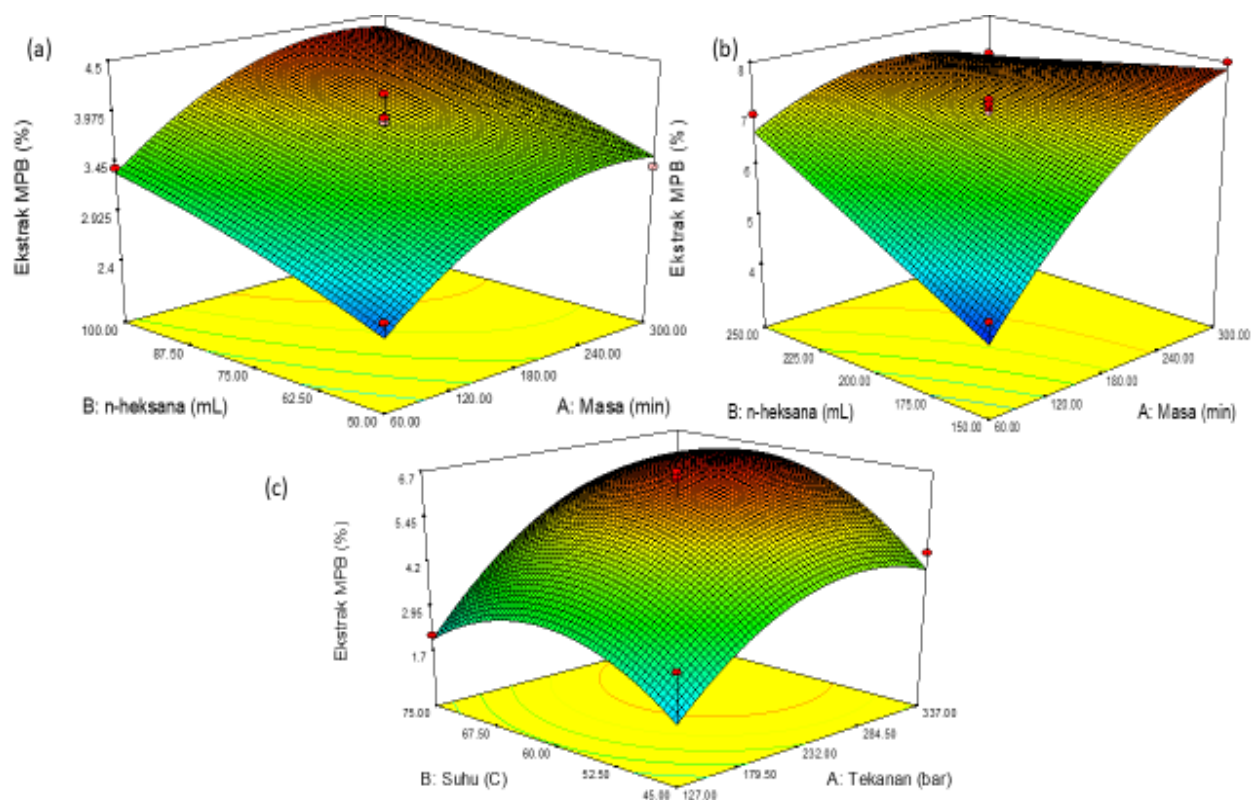
### HASIL EKSTRAK MPB

Persamaan kuadratik bagi hasil pengekstrakan MPB (%) oleh kaedah maserasi adalah  $Y = 3.87 + 0.52X_1 + 0.43X_2 - 0.0075X_1X_2 - 0.38(X_1)^2 - 0.076(X_2)^2$ . Jadual 2 menunjukkan nilai sebenar dan nilai ramalan MPB (%) bagi kaedah ini. Kaedah maserasi dapat mengekstrak sekurang-kurangnya 2.23% seawal 10 min dengan hasil 2.23%; menunjukkan bahawa pelarut n-heksana dapat mengekstrak MPB dengan cepat. Rajah 1(a) berbentuk lengkung kuadratik; menunjukkan bahawa keadaan optimum hasil MPB dapat diperolehi daripada kesan interaksi antara masa dan isi padu pelarut. Hasil MPB meningkat dengan meningkatnya isi padu n-heksana. Penemuan ini selari dengan Morata et al. (2019) yang mendapati bahawa pemusnahan dinding sel boleh dipercepatkan dengan kaedah maserasi dalam tempoh yang lebih lama. Walau bagaimanapun, hasil ekstrak didapati menurun apabila mencapai lebih 200 minit; menunjukkan bahawa pengekstrakan MPB telah mencapai tahap optimum kurang daripada tempoh maksimum yang ditetapkan (300 minit).

JADUAL 2. Nilai sebenar dan nilai ramalan MPB (%) bagi

pengekstrakan maserasi

No.	X <sub>1</sub> (dikod)	Masa (min)	X <sub>2</sub> (dikod)	n-heksana (mL)	Nilai sebenar (%)	Nilai ramalan/ Y (%)
1	-1	60	-1	50	2.61	2.46
2	1	300	-1	50	3.41	3.52
3	-1	60	1	100	3.39	3.34
4	1	300	1	100	4.16	4.37
5	-1.414	10	0	75	2.23	2.38
6	1.414	350	0	75	4.07	3.86
7	0	180	-1.414	40	3.07	3.11
8	0	180	1.414	110	4.43	4.33
9	0	180	0	75	3.87	3.87
10	0	180	0	75	3.69	3.87
11	0	180	0	75	4.17	3.87
12	0	180	0	75	3.92	3.87
13	0	180	0	75	3.73	3.87



RAJAH 1. Lengkuk respons permukaan bagi pengoptimuman hasil ekstrak MPB (%) melalui tiga kaedah pengekstrakan iaitu; (a) Maserasi; (b) Soxhlet (c) SFE-CO<sub>2</sub>

Bagi kaedah Soxhlet, hasil MPB (%) diungkapkan dalam persamaan kuadratik;  $Y = 7.06 + 1.06X_1 + 0.46X_2 - 0.82X_1X_2 - 0.61(X_1)^2 - 0.011(X_2)^2$ . Jadual 3 menunjukkan hasil tertinggi (8.0% MPB) diperoleh pada masa ke 300 min dengan penggunaan 150 mL pelarut n-heksana. Pengekstrakan MPB menggunakan Soxhlet juga menunjukkan lengkung kuadratik (Rajah 1(b)). Tempoh pengekstrakan menunjukkan kesan interaksi yang lebih nyata berbanding penggunaan pelarut n-heksana. Ekstrak MPB yang tertinggi boleh diperoleh dengan isi padu n-heksana kurang daripada 250 mL tetapi pada masa pengekstrakan yang lebih lama. Peningkatan hasil MPB meningkat dengan peningkatan masa dan penggunaan n-heksana pada nilai tertentu seperti yang ditunjukkan oleh garisan linear diikuti oleh lengkung kuadratik. Walaupun hasil pengekstrakan Soxhlet lebih tinggi daripada kaedah maserasi, tempoh yang lama diperlukan untuk mendapatkan hasil yang tinggi. Akan tetapi, hasil optimum ini boleh diperoleh dalam tempoh 300 minit. Penemuan ini seiring dengan kajian Mas'ud et al. (2017) yang melaporkan bahawa keadaan optimum pengekstrakan lemak mangga Arumanis

(7.03%) adalah pada 324 min dengan 224.23 mL heksana. Kaedah Soxhlet memerlukan pelarut yang banyak untuk memastikan sistem pengekstrakan berfungsi. Sistem Soxhlet memerlukan sekurang-kurangnya 130 mL n-heksana (bagi kapasiti 250 mL kelalang bulat) walaupun hanya melibatkan 1 g sampel.

Hasil ekstrak MPB (%) menggunakan SFE-CO<sub>2</sub> ditunjukkan dalam persamaan berikut;  $Y = 6.12 + 1.52X_1 + 0.52X_2 + 0.38X_1X_2 - 1.32(X_1)^2 - 1.42(X_2)^2$ . Jadual 4 menunjukkan hasil terendah nilai sebenar (0.41%) diperoleh pada tekanan 85 bar (tekanan paling minima). Faktor tekanan memainkan peranan yang sangat penting dalam pengekstrakan SFE-CO<sub>2</sub>. Walaupun sampel telah diekstrak selama 5 jam, tetapi hasil ekstrak didapati sangat rendah jika dibandingkan dengan tekanan yang lebih tinggi. Penemuan ini boleh dikaitkan dengan hubungan antara ketumpatan dan kekuatan untuk melarut. Tekanan tinggi boleh meningkatkan ketumpatan molekul CO<sub>2</sub> yang menyebabkan lebih banyak molekul pelarut mengelilingi tisu sampel, berinteraksi dengan cara melarutkan minyak dalam dinding sel secara mudah dan dapat membawa keluar lebih banyak minyak.



JADUAL 3. Nilai sebenar dan nilai ramalan MPB (%) bagi pengekstrakan Soxhlet

No.	X <sub>1</sub> (dikod)	Masa (min)	X <sub>2</sub> (dikod)	n-heksana (mL)	Nilai sebenar (%)	Nilai ramalan/Y (%)
1	-1	60	-1	150	4.5	4.10
2	1	300	-1	150	8.0	8.10
3	-1	60	1	250	7.0	7.04
4	1	300	1	250	7.2	7.15
5	-1.414	10	0	200	3.9	4.31
6	1.414	350	0	200	7.3	7.55
7	0	180	-1.414	130	6.1	6.21
8	0	180	1.414	270	7.5	7.45
9	0	180	0	200	7.1	7.06
10	0	180	0	200	7.3	7.06
11	0	180	0	200	6.7	7.06
12	0	180	0	200	7.0	7.06
13	0	180	0	200	7.2	7.06

JADUAL 4. Nilai sebenar dan nilai ramalan MPB (%) bagi pengekstrakan SFE-CO<sub>2</sub>

No.	X <sub>1</sub> (dikod)	Tekanan (bar)	X <sub>2</sub> (dikod)	Suhu (°C)	Nilai sebenar (%)	Nilai ramalan/Y (%)
1	-1	130	-1	45	3.08	3.57
2	1	340	-1	45	4.98	4.51
3	-1	130	1	75	2.12	2.25
4	1	340	1	75	5.03	5.21
5	-1.414	85	0	60	0.41	0.43
6	1.414	380	0	60	5.97	6.01
7	0	230	-1.414	40	1.38	1.41
8	0	230	1.414	80	4.61	4.78
9	0	230	0	60	6.49	6.12
10	0	230	0	60	5.87	6.12
11	0	230	0	60	5.00	6.12
12	0	230	0	60	6.55	6.12
13	0	230	0	60	6.70	6.12

Konsep ini juga turut dilaporkan oleh Soh et al. (2019) dalam pengekstrakan minyak patchouli pada tekanan 90, 120 dan 150 bar. Pada tekanan 120 bar, 70% minyak dapat diekstrak dalam masa 61 minit. Namun, dengan tekanan yang lebih tinggi (150 bar), hampir 70% minyak dapat diekstrak seawal 37 minit. Ini menunjukkan bahawa apabila tekanan bertambah, kadar pengekstrakan meningkat disebabkan oleh kekuatan melarut pada bendalir yang mempunyai ketumpatan yang tinggi.

Jadual 4 juga menunjukkan bahawa peningkatan suhu tidak meningkatkan hasil MPB. Apabila tekanan dikenakan pada 340 bar pada suhu 45 °C dan 75 °C, hasil MPB adalah hampir sama dengan nilai masing-masing ialah 4.98% dan 5.03%. Keadaan ini dapat dijelaskan dengan kaitan antara tekanan dan suhu sepanjang pengekstrakan yang memberi kesan terhadap ketumpatan dan difusif iaitu pergerakan molekul CO<sub>2</sub> daripada kepadatan yang tinggi kepada kepadatan yang rendah. Keterlarutan pelarut bukan polar ini dipengaruhi oleh bilangan ketumpatan molekul di dalam pelarut, interaksi antara molekul di dalam sampel dan interaksi antara pelarut dan bahan terlarut. Berat molekul dan kepolaran bahan terlarut juga memberi kesan terhadap kebolehlarutan bendalir CO<sub>2</sub> (Yamanaka & Ohtaki 2007).

Dalam pengekstrakan SFE-CO<sub>2</sub>, suhu yang tinggi boleh berfungsi melalui dua cara yang bertentangan; sama ada membantu meningkatkan hasil ekstrak atau mengurangkan hasil ekstrak. Cara yang kedua itu juga dikenali sebagai kesan terbalik atau lebih dikenali sebagai 'crossover effect' (Khaw et al. 2017). Dalam kajian ini, 'crossover effect' telah berlaku. Suhu yang tinggi tidak dapat meningkatkan hasil ekstrak kerana suhu yang tinggi telah meningkatkan pergerakan molekul secara rawak dalam bendalir CO<sub>2</sub>. Ketumpatan dan kepadatan CO<sub>2</sub> yang telah berkurang menyebabkan bendalir ini sukar menembusi dinding sel sampel. Penemuan ini turut selari dengan Ishak et al. (2021) yang melaporkan bahawa ekstrak minyak biji chia adalah tinggi (30.7%) pada keadaan 340 bar dengan suhu rendah (40 °C), tetapi

hasil minyak sangat rendah (18%) pada keadaan 340 bar dengan suhu dua kali lebih tinggi iaitu 80 °C.

Hasil MPB tertinggi (6.7%) ditemui pada keadaan titik berpusat iaitu 230 bar pada suhu 60 °C. Suhu ini lebih rendah jika dibandingkan dengan takat didih pelarut n-heksana iaitu 69 °C. Hasil yang lebih tinggi boleh diperoleh jika tekanan ditetapkan melebihi 380 bar seperti yang dilaporkan oleh Jahurul et al. (2014) iaitu 8.1% lemak mangga dapat diekstrak pada tekanan 422 bar dengan 72 °C dalam masa 300 minit. Julat data tekanan boleh diselaraskan pada 300 bar (minimum) dan 400 bar (maksimum) untuk mendapatkan bacaan tekanan yang lebih tinggi pada titik berpusat. Walau bagaimanapun, kapasiti maksimum tekanan adalah berbeza mengikut jenis skala SFE dan jenama alat SFE.

Lengkuk kuadratik bagi pengekstrakan SFE-CO<sub>2</sub> (Rajah 1(c)) menunjukkan bahawa hasil optimum diperoleh pada pertengahan keluk (*centre point*). Ini membuktikan bahawa pengekstrakan MPB melalui SFE-CO<sub>2</sub> tidak memerlukan tekanan dan suhu yang terlalu tinggi untuk mendapatkan hasil MPB yang optimum. Wang et al. (2016) melaporkan bahawa peningkatan tekanan daripada 150 bar kepada 200 bar sudah cukup untuk mengekstrak 53% minyak daripada biji *Gynostemma pentaphyllum*. Shao et al. (2014) pula mendapati bahawa tekanan melebihi 306 bar boleh mengurangkan ekstrak minyak *Crocus sativus* manakala Belwal et al. (2016) melaporkan bahawa tekanan yang terlalu tinggi boleh mengurangkan kadar pengekstrakan fenol dalam buah *Berberis asiatica*.

#### PENGOPTIMUMAN DAN PENENTUAN HASIL MPB YANG TERTINGGI DARIPADA PELBAGAI KAEDAH PENGEKSTRAKAN

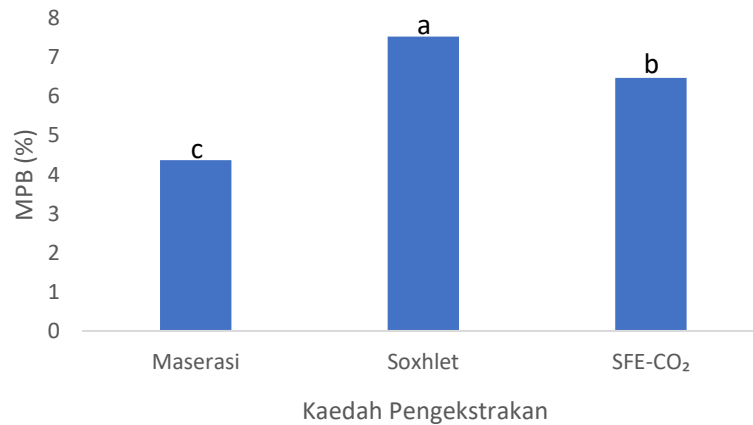
Jadual 5 menampilkan data hasil ekstrak MPB (%) yang optimum bagi setiap kaedah pengekstrakan. Hasil optimum MPB daripada SFE-CO<sub>2</sub> hampir menyamai kajian Isa et al. (2021) yang memperoleh ekstrak lemak sisa biji jeruk mangga sebanyak 6.4% dengan menggunakan SFE-CO<sub>2</sub>.

JADUAL 5. Keadaan optimum untuk mendapatkan hasil tertinggi bagi setiap pengekstrakan

Kaedah pengekstrakan	Masa (min)	Jumlah pelarut (mL)	Suhu (°C)	Tekanan (bar)	MPB(%)	Ketepatan
Maserasi	262	100	-	-	4.40	0.98
Soxhlet	300	150	-	-	7.87	0.97
SFE-CO <sub>2</sub>	300	4 mL/min	64	297	6.66	0.99

Keadaan optimum daripada Jadual 5 bagi setiap pengestrakan dipilih dan sampel diekstrak sebanyak tiga replikasi. Data yang diperoleh seterusnya dianalisis bagi

membandingkan hasil ekstrak. Hasil analisis mendapati bahawa MPB tertinggi diperoleh daripada kaedah Soxhlet diikuti oleh SFE-CO<sub>2</sub> dan maserasi (Rajah 2).



RAJAH 2. Perbandingan hasil MPB mengikut kaedah pengestrakan

Keputusan ini selari dengan Hasibuan dan Gultom (2021) yang melaporkan bahawa Soxhlet merupakan kaedah terbaik dalam pengestrakan minyak pati kulit limau berbanding kaedah maserasi. Pelarut n-heksana pula boleh mengekstrak minyak biji chia dengan lebih banyak berbanding pelarut lain (Ishak et al. 2020). Walau bagaimanapun, Soxhlet memerlukan jumlah pelarut yang banyak untuk mendapatkan hasil yang tinggi. Hasil ekstrak juga perlu dituliskan dengan melibatkan masa dan peralatan. Sifat fizikal MPB yang membeku pada suhu bilik pula menyukarkan pemindahan hasil ekstrak daripada proses penulenan kepada bekas pengumpulan. Pelarut n-heksana juga telah dikategorikan sebagai toksik dan mudah terbakar.

#### KOMPOSISI ASID LEMAK

Komposisi asid lemak MPB daripada tiga kaedah pengestrakan dibandingkan dengan CCB. Semua MPB mengandungi 15 asid lemak dan semua asid lemak ini terdapat dalam CCB kecuali asid pentadekanoik (Jadual 6). Empat kategori asid lemak telah dikenal pasti daripada 15 asid lemak tersebut iaitu asid lemak tepu (SFA), asid lemak tak tepu (USFA), asid lemak mono tak tepu (MUFA) dan asid lemak poli tak tepu (PUFA). Asid palmitik (C16:0) yang juga merupakan SFA rantai panjang, didapati paling banyak ditemui dalam CCB (25.43%) manakala asid palmitik dalam kesemua MPB

adalah jauh lebih rendah (6.04-8.88%). Asid palmitik yang tinggi ini boleh meningkatkan kolesterol dan meningkatkan risiko penyakit koronari (Mensink 2016; Santos et al. 2013). Penemuan ini membuktikan bahawa MPB boleh menghasilkan coklat yang lebih baik untuk kesihatan kerana mempunyai kalori yang lebih rendah berbanding CCB.

Asid stearik merupakan SFA tertinggi yang dijumpai dalam kesemua MPB (36.69-39.42%). Manakala, asid oleik merupakan MUFA yang paling tinggi dalam MPB (42.20-43.05%). Asid stearik dan oleik yang tinggi dalam MPB sangat baik untuk kesihatan kerana kedua-dua asid lemak ini boleh mengurangkan kolesterol (Meng et al. 2019). Walau bagaimanapun, kandungan kedua-dua asid lemak ini lebih rendah dalam CCB. MPB ekstrak daripada SFE-CO<sub>2</sub> mengandungi kandungan PUFA yang paling tinggi (10.363%) yang diperoleh daripada asid linoleik (C18:2), linolenik (C18:3) dan asid arakidik (C20:4). Asid linoleik dan linolenik adalah PUFA yang sangat diperlukan kerana kedua-duanya merupakan asid lemak perlu (EFA) yang tidak boleh disintesis oleh tubuh. Walaupun PUFA mudah teroksidasi, tetapi pengestrakan SFE-CO<sub>2</sub> dapat membantu mengurangkan pengoksidaan PUFA. Ini terbukti apabila kandungan PUFA dalam MPB-ekstrak daripada SFE-CO<sub>2</sub> lebih tinggi (10.39%) ( $p < 0.05$ ) berbanding Soxhlet dan maserasi. Akan tetapi, kandungan EFA tersebut didapati lebih rendah dalam CCB.



Asid linolenik yang ditemui dalam MPB dan CCB ini pula dikenali sebagai  $\alpha$ -Linolenik asid, C18:3n-3 (ALA) yang merupakan asid lemak omega-3 ( $\omega$ -3). Omega-3 biasanya banyak ditemui dalam minyak ikan terutamanya di dalam minyak ikan lemuru (Kosasih et al. 2021). Walau bagaimanapun, omega-3 ini tidak ditemui dalam minyak kelapa sawit, yang merupakan minyak sayuran tertinggi dihasilkan di Malaysia (Fadzel et al.

2021). Namun, sangat mengujakan apabila omega-3 ini ditemui dengan kandungan yang tertinggi pada MPB yang diekstrak daripada SFE-CO<sub>2</sub> berbanding Soxhlet dan maserasi, malah kandungan omega-3 ini melebihi 10 kali ganda yang terdapat dalam CCB. Ini menunjukkan bahawa MPB mempunyai nilai yang tinggi dalam kesihatan berbanding CCB.

JADUAL 6. Komposisi asid lemak (%) dalam MPB pada pengekstrakan berbeza

No. Lipid	Nama	Maserasi	Soxhlet	SFE-CO <sub>2</sub>	CCB
1. C14:0	Miristik	0.08±0.00 <sup>a</sup>	0.08±0.00 <sup>a</sup>	0.08±0.00 <sup>a</sup>	0.08±0.00 <sup>a</sup>
2. C15:0	Pentadekanoik	0.04±0.00 <sup>a</sup>	0.04±0.00 <sup>a</sup>	0.04±0.00 <sup>a</sup>	Tiada
3. C16:0	Palmitik	6.04±0.02 <sup>c</sup>	6.08±0.04 <sup>c</sup>	6.88±0.05 <sup>b</sup>	25.43±0.04 <sup>a</sup>
4. C16:1	Palmitoleik	0.03±0.00 <sup>b</sup>	0.03±0.00 <sup>b</sup>	0.04±0.00 <sup>b</sup>	0.23±0.00 <sup>a</sup>
5. C17:0	Heptadekanoik	0.13±0.00 <sup>b</sup>	0.13±0.00 <sup>b</sup>	0.13±0.00 <sup>b</sup>	0.22±0.01 <sup>a</sup>
6. C18:0	Stearik	39.13±0.02 <sup>b</sup>	39.42±0.04 <sup>a</sup>	36.69±0.02 <sup>c</sup>	36.26±0.05 <sup>d</sup>
7. C18:1	Oleik	42.70±0.14 <sup>ab</sup>	42.20±0.01 <sup>b</sup>	43.05±0.15 <sup>a</sup>	33.52±0.44 <sup>c</sup>
8. C18:2	Linoleik	7.06±0.02 <sup>b</sup>	7.05±0.03 <sup>b</sup>	8.53±0.08 <sup>a</sup>	2.92±0.15 <sup>c</sup>
9. C18:3	Linolenik	1.24±0.06 <sup>b</sup>	1.31±0.09 <sup>b</sup>	1.57±0.07 <sup>a</sup>	0.15±0.04 <sup>c</sup>
10. C20:0	Arakidik	2.18±0.16 <sup>a</sup>	2.14±0.07 <sup>a</sup>	2.18±0.03 <sup>a</sup>	1.05±0.07 <sup>b</sup>
11. C20:1	Gadoleik	0.19±0.00 <sup>a</sup>	0.19±0.00 <sup>a</sup>	0.16±0.00 <sup>a</sup>	0.05±0.06 <sup>b</sup>
12. C20:4	Arakidonik	0.12±0.00 <sup>b</sup>	0.13±0.00 <sup>b</sup>	0.42±0.01 <sup>a</sup>	0.02±0.00 <sup>c</sup>
13. C21:0	Heneikosanoik	0.03±0.00 <sup>b</sup>	0.03±0.00 <sup>b</sup>	0.06±0.00 <sup>a</sup>	0.01±0.00 <sup>c</sup>
14. C22:0	Behenik	0.58±0.00 <sup>a</sup>	0.58±0.00 <sup>a</sup>	0.52±0.00 <sup>a</sup>	0.19±0.00 <sup>b</sup>
15. C24:0	Lignoserik	0.57±0.00 <sup>a</sup>	0.57±0.00 <sup>a</sup>	0.50±0.02 <sup>b</sup>	0.13±0.00 <sup>c</sup>
	Jumlah SFA	51.59±0.37 <sup>b</sup>	50.81±0.03 <sup>c</sup>	53.20±0.02 <sup>b</sup>	63.60±0.23 <sup>a</sup>
	Jumlah USFA	48.86±0.12 <sup>c</sup>	49.23±0.03 <sup>b</sup>	46.89±0.02 <sup>d</sup>	36.63±0.20 <sup>d</sup>
	Jumlah MUFA	42.76±0.02 <sup>b</sup>	42.59±0.18 <sup>b</sup>	43.48±0.34 <sup>a</sup>	33.23±0.11 <sup>c</sup>
	Jumlah PUFA	8.38±0.03 <sup>b</sup>	8.35±0.03 <sup>b</sup>	10.39±0.03 <sup>a</sup>	3.29±0.07 <sup>c</sup>

<sup>a-d</sup> Nilai min purata dengan huruf superskrip berbeza pada baris yang sama adalah signifikan pada ( $p < 0.05$ )

## KELAKUAN PENCAIRAN LEMAK MPB

Penentuan kelakuan pencairan sangat penting kerana CCB merupakan bahan utama dalam produk coklat yang membantu coklat untuk cair sepenuhnya di dalam mulut pada suhu badan sekitar 36-37 °C. MPB mula cair pada suhu 29.49 -32.68 °C, mencapai puncak pencairan pada 37.58 - 38.17 °C dan cair sepenuhnya pada suhu 41.51 - 42.86 °C (Jadual 7). MPB dan CCB yang mula cair pada suhu 29 °C menunjukkan bahawa kedua-dua lemak ini masih kekal dalam bentuk pepejal pada suhu bilik (25-27 °C). Kelakuan pencairan MPB ekstrak daripada SFE-CO<sub>2</sub> adalah paling hampir dengan CCB kerana tiada

perbezaan bererti ( $p < 0.05$ ) bagi kedua-dua suhu puncak. Pencairan lemak yang mencapai puncak sekitar 37-38 °C menunjukkan bahawa MPB boleh cair di dalam mulut pada suhu badan. Suhu puncak ini menyamai suhu puncak lemak koko yang membolehkan hablur V terbentuk (hablur yang memberi tekstur serta rasa coklat yang terbaik). Penemuan ini juga selari dengan kajian CBA yang lain dalam penghasilan coklat iaitu adunan fraksi pertengahan sawit (PMF) dan minyak dedak padi (RBO). Adunan ini cair sepenuhnya pada suhu 32.48-38.28 °C dengan puncak suhu pencairannya adalah 34.19 °C (Saidin & Ramli 2010).

JADUAL 7. Kelakuan pencairan lemak MPB dan lemak koko komersial (CCB)

Kaedah pengekstrakan	Permulaan (°C)	Puncak (°C)	Pengakhiran (°C)	ΔH (J/g)
Maserasi	32.68±0.05 <sup>a</sup>	38.37±0.12 <sup>b</sup>	41.91±0.01 <sup>bc</sup>	58.06±0.15 <sup>b</sup>
Soxhlet	30.52±0.09 <sup>b</sup>	38.86±0.08 <sup>b</sup>	41.51±0.15 <sup>c</sup>	43.35±0.13 <sup>d</sup>
SFE-CO <sub>2</sub>	29.49±0.02 <sup>c</sup>	37.58±0.11 <sup>a</sup>	42.86±0.08 <sup>ab</sup>	40.96±0.10 <sup>c</sup>
CCB	29.33±0.31 <sup>bc</sup>	37.59±0.52 <sup>a</sup>	42.91±0.09 <sup>ab</sup>	101.4±0.12 <sup>a</sup>

<sup>a-c</sup> Nilai min purata dengan huruf superskrip berbeza pada jalur yang sama adalah signifikan pada ( $p < 0.05$ )

## KESIMPULAN

Pada keadaan optimum, kaedah pengestrakan Soxhlet dengan pelarut n-heksana mengekstrak lebih banyak MPB diikuti oleh pengekstrakan SFE-CO<sub>2</sub> dan maserasi. Namun begitu, MPB yang diekstrak daripada SFE-CO<sub>2</sub> mempunyai khasiat pemakanan yang lebih tinggi berbanding MPB yang lain dan CCB. Kelakuan pencairan MPB daripada SFE-CO<sub>2</sub> yang lebih hampir dengan CCB pula membuktikan bahawa MPB boleh digunakan sebagai CBA dalam penghasilan coklat. Namun, kajian pengekstrakan SFE-CO<sub>2</sub> skala naik perlu dijalankan bagi menghasilkan lebih banyak MPB untuk menghasilkan coklat, supaya kajian keserasian MPB dengan CCB serta penentuan kualiti coklat dan penerimaan pengguna dapat ditentukan.

## PENGHARGAAN

Setinggi-tinggi penghargaan kepada UKM di atas pembiayaan kajian melalui geran penyelidikan UKM (GUP-2020-039).

## RUJUKAN

- AOCS. 2011. *Official Methods of the American Oil Chemist's Society* (AOCS) Vol. Cd 8b-90. Champaign, IL: AOCS Press.
- Belwal, T., Dhyani, P., Bhatt, I.D., Rawal, R.S. & Pande, V. 2016. Optimization extraction conditions for improving phenolic content and antioxidant activity in *Berberis asiatica* fruits using response surface methodology (RSM). *Food Chemistry* 207: 115-124.
- Bhattacharya, S. 2021. *Central Composite Design for Response Surface Methodology and Its Application in Pharmacy*. DOI:10.5772/intechopen.95835.
- Fadzel, F.M., Salimon, J. & Derawi, D. 2021. Low-energy separation technique on purification of unsaturated fatty acids of palm stearin using methanol crystallization method. *Sains Malaysiana* 50(1): 151-160. <http://dx.doi.org/10.17576/jsm-2021-5001-15>.
- FAO Statistical Database. 2015. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>.

- Hasibuan, E. & Gultom, E. 2021. The effect of method, type of solvent and extraction time towards the yield of oil on essential oil extraction from lime peel (*Citrus aurantifolia*). *IOP Conference Series: Material Sciences and Engineering* 1122: 12-108.
- Hassim, N., Markom, M., Anuar, N., Dewi, K.H., Baharum, S.N. & Mohd Noor, N. 2015. Antioxidant and antibacterial assay on *Polygonum minus* extracts: Different extraction methods. *International Journal of Chemical Engineering* 2015: 826709.
- Hewavitharana, G.G., Dilini, N.P., Navaratne, S.B. & Wickramasinghe, I. 2020. Extraction methods of fat from food samples and preparation of fatty acid methyl esters for gas chromatography: A review. *Arabian Journal of Chemistry* 13: 6865-6875.
- Isa, N., Sofian-Seng, N.S. & Wan-Mustapaha, W.A. 2021. Ekstrak lemak sisa biji jeruk mangga (*Mangifera indica* L.) menggunakan pengekstrakan bendalir lampau-genting dan perbandingannya dengan lemak koko (*Theobroma cacao* L.). *Sains Malaysiana* 50(7): 1901-1911.
- Ishak, I., Ghani, M.A. & Nasri, N.N.S. 2020. Effect of extraction solvents on the oxidative stability of chia seed (*Salvia hispanica* L.) oil stored at different storage temperatures. *Food Research* 4(6): 2103-2113.
- Islam, S., Saroop, S., Bheem, V., Harnarayan, P. & Naraynsingh, V. 2018. Mango seed causing acute large bowel obstruction in descending colon-world's first reported case. *International Journal of Surgery Case Reports* 51: 125-129.
- Jahurul, M., Zaidul, I., Ghafoor, K., Al-Juhaimi, F., Nyam, K. & Norul Aini, N. 2015. Mango (*Mangifera indica* L.) by-products and their valuable components: A review. *Food Chemistry* 183: 173-180.
- Jahurul, M.H.A., Norulaini, N., Sahena, N., Jaffri, F. & Mohd Omar, A.K. 2014. Supercritical carbon dioxide extraction and studies of mango seed kernel for cocoa butter analogy fats. *CyTa-Journal of Food* 12(1): 97-103.
- Jin, J., Zheng, L., Zhang, J., Xie, D., Wang, X., Huang, J., Jin, Q. & Wang, X. 2017. Production of sn-1,3-distearoyl-2-oleoyl-glycerol-rich fats from mango kernel fat by selective fractionation using 2-methylpentane based 485 isohexane. *Food Chemistry* 234: 46-54.
- Kosasih, W., Rosmalina, R.T., Risdian, C., Priatni, S. & Saepudin, E. 2021. Production of omega-3 fatty acids by enzymatic hydrolysis from lemuru fish by-products. *Sains Malaysiana* 50(8): 2271-2282. <https://doi.org/10.17576/jsm-2021-5008-11>
- Khaw, K.Y., Parat, M.O., Shaw, P.N. & Falconer, J.R. 2017. Solvent supercritical fluid technologies to extract bioactive compounds from natural sources: A review. *Molecules* 22(7): 1186.
- Mas'ud, F., Mahendradatta, M., Laga, A. & Zainal, Z. 2017. Optimization of mango seed kernel oil extraction using response surface methodology. *Oilseeds & Fats Crops and Lipids* 24(5): 1-7.
- Meng, H., Matthan, N.R., Wu, D., Li, L., Rodríguez- Morató, J., Cohen, R., Galluccio, J.M., Dolnikowski, G.G. & Lichtenstein, A.H. 2019. Comparison of diets enriched in stearic, oleic, and palmitic acids on inflammation, immune response, cardiometabolic risk factors, and fecal bile acid concentrations in mildly hypercholesterolemic postmenopausal women-randomized crossover trial. *American Journal of Clinical and Nutritional* 110: 305-315.
- Mensink, R.P. 2016. *Effects of Saturated Fatty Acids on Serum Lipids and Lipoproteins: A Systematic Review and Regression Analysis*. Geneva, Switzerland: World Health Organization.
- Mohamad Said, K.A. & Mohamed Amin, M.A. 2015. Overview on the response surface methodology (RSM) in extraction processes. *Journal of Applied Science & Process Engineering* 2(1): 8-17.
- Morata, A., González, C., Tesfaye, W., Loira, I. & Suárez-Lepe, J.A. 2019. Chapter 3 -Maceration and fermentation: New technologies to increase extraction. In *Red Wine Technology*, edited by Morata, A. Massachusetts: Academic Press. pp. 35-49.
- Saidin, S.M. & Ramli, N. 2010. Melting behaviour of binary mixtures of palm mid fraction and rice bran oil. *Sains Malaysiana* 39(5): 785-790.
- Santos, S., Oliveira, A. & Lopes, C. 2013. Systematic review of saturated fatty acids on inflammation and circulating levels of adipokines. *Nutritional Research* 33(9): 687-695.
- Saroj, K.S. 2018. Standardization of recipe and method for mango pickle. *International Journal of Chemical Studies* 6(2): 2033-2037.
- Shao, Q., Huang, Y., Zhou, A., Guo, H., Zhang, A. & Wang, Y. 2014. Application of response surface methodology to optimize supercritical carbon dioxide extraction of volatile compounds from *Crocus sativus*. *Journal Science Food Agriculture* 94(7): 1430-1436.
- Sikdar, D.C., Siri, H., Vinay, S., Varsha, S. & Rao, R. 2017. Solvent extraction of mango (*Mangifera indica* L.) seed kernel oil and its characterization. *International Journal of Technical Research and Applications* 5(4): 43-47.
- Sodeifian, G.S.A., Sajadian, N.A. & Ardestani, S. 2017. Supercritical fluid extraction of omega-3 from *Dracocephalum kotschy* seed oil: Process optimization and oil properties. *Journal Supercritical Fluids* 119: 139-149.
- Soh, S.H., Agarwal, S., Jain, A., Lee, L.Y., Chin, S.K. & Jayaraman, S. 2019. Mathematical modeling of mass transfer in supercritical fluid extraction of patchouli oil. *Material Science Engineering* 1(4): e12051.
- Wang, L., Wang, X., Wang, P., Xiao, Y. & Liu, Q. 2016. Optimization of supercritical carbon dioxide extraction, physicochemical and cytotoxicity properties of *Gynostemma pentaphyllum* seed oil: A potential source of conjugated linolenic acids. *Separation and Purification Technology* 159: 147-156.
- Yadav, K.K. & Singh, S.P. 2018. Mango: History origin and distribution. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry* 6(6): 1257-1262.
- Yamanaka, K. & Ohtaki, H. 2007. Supercritical fluids and reductions in environmental pollution. In *Thermodynamics, Solubility and Environmental Issues*, edited by Letcher T.M. Elsevier. pp. 51-84.

- Ye, G., Ma, L., Li, L., Liu, J., Yuan, S. & Huang, G. 2017. Application of Box–Behnken design and response surface methodology for modeling and optimization of batch floatation of coal. *International Journal of Coal Preparation and Utilization* 40(1): 1-15. <http://dx.doi.org/10.1080/19392699.2017.1350657>
- Zhou, J., Gullón, B., Wang, M., Gullón, P., Lorenzo, J.M. & Barba, F.J. 2021. The application of supercritical fluids technology to recover healthy valuable compounds from marine and agricultural food processing by-products: A review. *Processes* 9: 357.

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