

# Kinetika Kristalisasi Campuran Minyak Sawit Bebas Asam Lemak Trans untuk Produksi Margarin

[Crystallization Kinetics of Trans Fat Free Palm Oil Blend for Margarine Production]

Ferdinandus Archie Pangestu<sup>1)</sup>, Nurheni Sri Palupi<sup>2)\*</sup>, Nur Wulandari<sup>2)</sup>, dan Dimas Supriyadi<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> Program Studi Teknologi Pangan, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB University, Bogor, Indonesia

<sup>2)</sup> Departemen Ilmu dan Teknologi Pangan, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB University, Bogor, Indonesia

<sup>3)</sup> PT Sinar Meadow International Indonesia, Jakarta, Indonesia

Diterima 31 Maret 2022 / Disetujui 9 Januari 2023

## ABSTRACT

Non-trans-fat (NTF) margarine was produced by substituting partially-hydrogenated palm oil in margarine oil blend with fully-hydrogenated palm oil. Three types of NTF oil blends were used in this study. To obtain an NTF oil blend with similar physical properties to the reference oil blend, which contain partially-hydrogenated oil, the melting properties and crystallization kinetics were evaluated. The iodine value of raw material oil was measured, and the oil was mixed to form the margarine oil blends. Fatty acid composition (FAC) and solid fat content (SFC) of the oil blends were examined. Melting properties of the oil blends were determined based on SFC analysis, while crystallization kinetics were determined using Avrami model. The results showed that there was no trans fatty acids detected in the NTF oil blends. The rate of crystallization constant ( $k$ ) of the Avrami index of reference oil and NTF-1 oil blend were  $0.1413 \pm 0.0047$  and  $0.1369 \pm 0.0016 \text{ min}^{-n}$ , respectively, whilst their Avrami exponent ( $n$ ) were  $0.93 \pm 0.02$  and  $0.94 \pm 0.01$ , respectively. There was no significant difference on these Avrami indexes, and therefore NTF-1 oil blend could be selected as an alternative oil blend for margarine production.

**Keywords:** Avrami index, crystallization kinetics, margarine, melting properties, trans fatty acids

## ABSTRAK

Pembuatan margarin lemak non-trans (LNT) dilakukan melalui substitusi minyak sawit terhidrogenasi parsial pada campuran minyak margarin dengan minyak sawit terhidrogenasi penuh. Terdapat tiga jenis campuran minyak LNT yang digunakan. Perbandingan sifat pelelehan dan kinetika kristalisasi dilakukan antara campuran minyak LNT dengan campuran minyak pembanding, yang masih mengandung minyak terhidrogenasi parsial, untuk mendapatkan sebuah campuran minyak LNT dengan sifat fisik yang serupa dengan campuran minyak pembanding. Penelitian diawali dengan analisis bilangan iod minyak bahan baku, dilanjutkan dengan pencampuran minyak menjadi campuran minyak margarin, dan kemudian dengan analisis campuran minyak. Analisis campuran minyak mencakup analisis komposisi asam lemak (KAL) dan kandungan lemak padat (KLP). Sifat pelelehan ditentukan dengan analisis KLP, sedangkan kinetika kristalisasi ditentukan dengan model Avrami. Hasil analisis menunjukkan campuran minyak LNT tidak mengandung asam lemak trans. Indeks Avrami campuran minyak pembanding dan LNT-1 berturut-turut adalah  $0,1413 \pm 0,0047 \text{ menit}^{-n}$  dan  $0,1369 \pm 0,0016 \text{ menit}^{-n}$  untuk konstanta laju pembentukan kristal lemak ( $k$ );  $0,93 \pm 0,02$  dan  $0,94 \pm 0,01$  untuk eksponen Avrami ( $n$ ). Campuran minyak LNT-1 dipilih sebagai campuran minyak alternatif karena nilai KLP campuran minyak LNT-1 sesuai dengan spesifikasi pembanding dan indeks Avrami campuran minyak LNT-1 tidak berbeda signifikan dengan campuran minyak pembanding.

**Kata kunci:** asam lemak trans, indeks Avrami, kinetika kristalisasi, margarin, sifat pelelehan

\*Penulis Korespondensi: E-mail: [hnpalupi@apps.ipb.ac.id](mailto:hnpalupi@apps.ipb.ac.id)

## PENDAHULUAN

Lemak merupakan produk pangan yang umum dikonsumsi oleh masyarakat di Indonesia. Margarin merupakan produk emulsi lemak yang berbentuk padat atau semi-padat atau cair, terbuat dari lemak atau minyak nabati, air, serta atau tanpa bahan pangan lain seperti garam. Karakteristik dasar margarin mencakup minimal 80% kandungan minimal, maksimal 18% kadar air, serta mengandung vitamin A dan D berturut-turut sebanyak 2500–3500 IU/100 g dan 250–350 IU/100 (BPOM, 2019). Campuran minyak memberikan kontribusi utama pada sifat fisik margarin, yang perbedaan komposisi asam lemaknya dapat memberikan efek terhadap sifat fisik margarin (Domingues *et al.*, 2015).

Margarin dapat diproduksi menggunakan beberapa jenis minyak nabati (minyak sawit, minyak inti sawit, minyak kedelai, olein, dan stearin) yang melalui proses modifikasi minyak. Beberapa jenis minyak dicampurkan dalam proporsi dan komposisi tertentu untuk menghasilkan campuran minyak yang dapat memberikan karakteristik fisik dan sensori margarin yang diinginkan (Kanagaratnam *et al.*, 2021). Perbedaan karakteristik fisik dan sensori margarin disebabkan oleh perbedaan karakteristik polimorfisme lemak yang sangat dipengaruhi oleh perbedaan komposisi asam lemak pada campuran minyak (Mursalin *et al.*, 2016). Selain itu, pencampuran minyak juga dilakukan untuk menghasilkan margarin lemak non-trans, sehingga konsumen dapat menghindari konsumsi asam lemak trans yang berbahaya bagi kesehatan (Hasibuan dan Hardika, 2015). Terkait proses modifikasi minyak, proses hidrogenasi telah umum dilakukan untuk menghasilkan margarin yang padat (Subroto dan Nurannisa, 2015). Hidrogenasi mengurangi jumlah ikatan rangkap asam lemak tidak jenuh untuk meningkatkan titik leleh dan kadar lemak padat (Domingues *et al.*, 2015). Menurut Zaeromali *et al.* (2014), proses ini telah lama digunakan produsen margarin Iran untuk memproduksi margarin yang memiliki tingkat kepadatan dan umur simpan yang baik.

Produksi margarin dilakukan melalui proses pendinginan campuran minyak yang sudah teremulsi dengan air, garam dan bahan tambahan pangan lain. Campuran minyak yang menghasilkan kristal lemak  $\beta'$  (beta-prime) dapat memberikan karakteristik tekstur margarin terbaik, yaitu mudah dioles, bertekstur lembut namun tetap plastis, serta tidak menghasilkan sensasi berpasir di mulut (*mouthfeel grainy*) (Sabry *et al.*, 2020). Kristal lemak ini berbentuk jarum-jarum halus dengan konformasi yang padat, luas permukaan yang besar, dan mampu membentuk struktur jaringan lemak yang kuat dengan tingkat kehalusan yang baik (Zhang *et al.*, 2018). Karakteristik tersebut sangat dipengaruhi sifat pelelehan dan kinetika kristalisasi dari campuran minyak (Li *et al.*, 2018).

Konsumsi margarin yang menggunakan bahan baku minyak terhidrogenasi telah menjadi perhatian konsumen akibat asam lemak trans yang terkandung. Asam lemak trans dari proses hidrogenasi parsial (*partial hydrogenation*) dapat meningkatkan kandungan kolesterol lipoprotein densitas rendah atau *low density lipoprotein* (LDL) *cholesterol* dalam darah yang berpotensi menyebabkan penyakit jantung koroner (Te Morenga dan Montez, 2017). Menurut WHO (2020), penghilangan produksi asam lemak trans pada produk-produk pangan olahan harus dilakukan sebelum tahun 2023. Hal tersebut membuat industri harus beradaptasi.

Campuran minyak margarin pada salah satu margarin konvensional di Indonesia, yang selanjutnya disebut campuran minyak pembanding, masih mengandung asam lemak trans dari penggunaan minyak terhidrogenasi parsial. Inisiasi campuran minyak margarin lemak non-trans (LNT) dilakukan untuk menggantikan campuran minyak pembanding dalam produksi margarin pembanding. Analisis sifat pelelehan dan kinetika kristalisasi campuran minyak LNT perlu dilakukan untuk memastikan campuran minyak LNT dapat menghasilkan sifat fisik margarin yang serupa dengan campuran minyak pembanding. Sifat pelelehan campuran minyak memberikan estimasi sifat fisik dari produk akhir margarin, sedangkan kinetika kristalisasi memberikan gambaran mengenai laju dan mekanisme pertumbuhan kristal lemak. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan dan membandingkan sifat pelelehan dan kinetika kristalisasi beberapa campuran minyak LNT dengan formula campuran minyak pembanding, sehingga dapat diperoleh campuran minyak LNT yang dapat menggantikan campuran minyak pembanding untuk produksi margarin pembanding.

## BAHAN DAN METODE

### Bahan

Bahan-bahan penelitian mencakup beberapa jenis minyak nabati yang dimurnikan atau disebut minyak *refined bleached deodorized* (RBD). Minyak-minyak yang digunakan mencakup *refined bleached deodorized palm kernel oil* (RBD PKO), *refined bleached deodorized palm oil* (RBD PO), serta beberapa jenis minyak RBD terhidrogenasi yang mencakup *refined bleached deodorized fully hydrogenated oil 1* (RBD FHO 1), *refined bleached deodorized fully hydrogenated oil 2* (RBD FHO 2), *refined bleached deodorized fully hydrogenated oil 3* (RBD FHO 3), dan *refined bleached deodorized partially hydrogenated oil 1* (RBD PHO 1). Sampel minyak diperoleh dari PT. Sinar Meadow International Indonesia (SMII), Jakarta, Indonesia pada 14 Februari 2020.

**Pelaksanaan penelitian**

Penelitian terbagi menjadi empat tahap, yaitu (1) analisis bilangan iod (BI) minyak bahan baku, (2) pencampuran minyak, (3) analisis karakteristik fisiko-kimia campuran minyak pembanding dan LNT, dan (4) analisis dan perbandingan kinetika kristalisasi kedua jenis campuran minyak.

**Analisis bilangan iod (BI) minyak bahan baku**

Analisis bilangan iod (BI) yang dilakukan dengan menggunakan metode AOCS Cd 1b-87 (AOCS, 2009) bertujuan untuk melihat kesesuaian bilangan iod minyak bahan baku dengan spesifikasi PT. SMII. Sampel ditimbang ke dalam labu erlenmeyer, kemudian ditambahkan 10 mL sikloheksana dan 25 mL larutan Wijs. Masing-masing sampel disimpan pada ruangan gelap selama 30 menit. Selanjutnya, larutan KI 10% sebanyak 10 mL dan 50 mL akuades ditambahkan. Campuran dititrisi dengan larutan natrium tiosulfat (Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 0,1 N hingga warna biru berubah menjadi kuning. Campuran kemudian ditambahkan 1 mL larutan kanji sebagai indikator. Titrasi dilanjutkan hingga campuran menjadi bening. Blanko ditetapkan sebelum titrasi sampel dan mendapatkan perlakuan yang sama dengan sampel. Volume natrium tiosulfat pada masing-masing titrasi dicatat dan bilangan iod dapat ditentukan. Perhitungan BI dilakukan dengan menggunakan persamaan (1):

$$BI \text{ (mg I/g sampel)} = \frac{(V_{\text{blanko}} - V_{\text{sampel}}) \times N \times 126,9}{10 \times W_{\text{sampel}}} \dots (1)$$

V<sub>blanko</sub> dan V<sub>sampel</sub> menunjukkan volume Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yang digunakan untuk titrasi pada masing-masing larutan blanko dan sampel (mL), N menandakan normalitas Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yang digunakan untuk titrasi (N), sedangkan W<sub>sampel</sub> adalah berat sampel dalam labu erlenmeyer (g). Selain itu, angka 126,9 dan 10 masing-masing menunjukkan bobot atom iodin dan faktor konversi.

**Pencampuran minyak**

Campuran minyak margarin yang dibuat terdiri atas satu campuran minyak pembanding dan tiga campuran minyak LNT. Campuran minyak pembanding merupakan campuran minyak sebuah margarin

konvensional di Indonesia, sedangkan campuran minyak LNT merupakan campuran minyak lemak non-trans inisiasi penelitian yang berpotensi menggantikan campuran minyak pembanding. Tabel 1 menunjukkan formulasi yang digunakan dalam penelitian.

Penggunaan RBD PHO 1 pada campuran minyak LNT disubstitusi dengan minyak terhidrogenasi penuh RBD FHO 1, RBD FHO 2, dan RBD FHO 3. RBD FHO 2 berperan sebagai minyak pematat (*hard stock oil*) yang dapat meningkatkan tingkat kepadatan margarin hingga mendekati campuran minyak pembanding. Perlakuan variasi konsentrasi RBD FHO 2 sebesar 2, 1, dan 0% berturut-turut diberikan pada campuran minyak LNT-1, LNT-2 dan LNT-3. Penghilangan RBD PHO 1 dilakukan untuk menghilangkan asam lemak trans pada campuran minyak. Penambahan minyak terhidrogenasi penuh RBD FHO 1 dan 3 pada campuran minyak LNT dilakukan pada persentase 2% sebagai minyak pematat pendukung dan untuk memberikan sifat pelelehan yang cepat pada margarin. Perlakuan variasi konsentrasi hanya dilakukan pada minyak RBD FHO 2 karena minyak ini merupakan minyak pematat utama yang memiliki kontribusi terbesar terhadap peningkatan kepadatan margarin.

Pencampuran minyak diawali dengan pemanasan dan pengadukan minyak-minyak bahan baku dalam gelas piala menggunakan plat panas (Heidolph Instruments GmbH & Co., Schwabach, Jerman) suhu 80°C. Masing-masing minyak bahan baku dicampurkan ke dalam gelas piala 250 mL sesuai formulasi, kemudian dipanaskan dan diaduk menggunakan plat panas dan pengaduk magnetik selama 5 menit (Chikhoun *et al.*, 2020).

**Analisis karakteristik fisikokimia campuran minyak**

Analisis yang dilakukan meliputi (1) analisis komposisi asam lemak (KAL) dan (2) analisis kandungan lemak padat (KLP). Analisis KAL dilakukan berdasarkan metode MPOB p34 dan p3.5 dengan modifikasi (MPOB, 2004). Modifikasi yang dilakukan mencakup penghilangan proses pemanasan kondensator refluks pada sintesis metil ester asam lemak atau *fatty acid methyl ester* (FAME) dan proses transmetilasi dilakukan pada labu kerucut pemisah.

Tabel 1. Formulasi campuran minyak margarin  
*Table 1. Margarine oil blend formulation*

| Jenis Minyak ( <i>Oil Type</i> ) | Proporsi % ( <i>Percentage %</i> )              |  |  |  |
|----------------------------------|---|--|--|--|
|                                  | Formula Pembanding ( <i>Reference Formula</i> ) | Formula LNT-1 ( <i>NTF-1 Formula</i> ) | Formula LNT-2 ( <i>NTF-2 Formula</i> ) | Formula LNT-3 ( <i>NTF-3 Formula</i> ) |
| RBD palm oil                     | 84  | 94                                     | 95                                     | 96                                     |
| RBD palm kernel oil              | 6   | -                                      | -                                      | -                                      |
| RBD fully hydrogenated oil 1     | -   | 2                                      | 2                                      | 2                                      |
| RBD fully hydrogenated oil 2     | 2   | 2                                      | 1                                      | 0                                      |
| RBD fully hydrogenated oil 3     | -   | 2                                      | 2                                      | 2                                      |
| RBD partially hydrogenated oil 1 | 8   | -                                      | -                                      | -                                      |

Sampel ditambahkan larutan KOH-metanol sehingga dihasilkan FAME. FAME diekstrak dari campuran menggunakan n-heptana, kemudian diinjeksi ke dalam GC-FID Agilent 6890 (Agilent, California, USA) dengan kolom kromatografi CPSIL-88 yang memiliki panjang 100 m, diameter 0,25 mm, dan ketebalan film 0,2 µm. Injeksi FAME sebanyak 1 µL dilakukan dengan metode port injeksi terpisah atau *split injection port* bersuhu 220°C, fase gerak gas helium (He), dan bahan bakar menggunakan gas hidrogen. Suhu pada kolom kromatografi diprogram untuk mengalami peningkatan suhu dari 80 ke 240°C dengan laju peningkatan suhu sebesar 3°C/menit, sedangkan detektor FID diprogram pada suhu 270°C.

Analisis kandungan lemak padat (KLP) dilakukan berdasarkan metode AOCS Cd 16b-93 (AOCS, 2009) menggunakan alat analisis kadar lemak padat berdasarkan resonansi magnetik nukleus atau *Nuclear Magnetic Resonance* (NMR). Alat NMR Bruker Minispec mq20 *Solid Fat Content Analyzer* (Bruker®, Massachusetts, USA) digunakan dalam analisis berikut. Sampel dimasukkan ke dalam tabung NMR ±2,5 cm, dipertahankan pada oven (Memmert GmbH + Co., Schwabach, Jerman) suhu 70°C selama 30 menit untuk menghilangkan kristal lemak. Sampel lalu didiamkan di dalam penangas air (Huber Kältemaschinenbau AG, Offenburg, Jerman) 0°C selama 60 menit, lalu dipertahankan selama 30 menit di *water bath* masing-masing suhu-suhu observasi (10, 20, 30, dan 40°C). Nilai KLP sampel kemudian diukur dalam NMR Bruker Minispec mq20 *Solid Fat Content Analyzer*. Berdasarkan metode berikut, pengukuran KLP dilakukan berdasarkan metode langsung, sinyal peluruhan induksi bebas atau *free induction decay* (FID) fraksi cair dan padat sampel digunakan untuk mengukur KLP. Sinyal FID fraksi padat hilang lebih cepat dibandingkan fraksi cair, sehingga alat mengukur sinyal pada dua titik, yaitu titik S untuk total sinyal fraksi padat dan cair, lalu pada titik L untuk sinyal fraksi cair setelah sinyal fraksi padat hilang. Dengan aritmatika sederhana, rasio antara sinyal fraksi padat dan fraksi cair dihitung untuk mendapatkan KLP berdasarkan Persamaan (2):

$$KLP (\%) = \frac{(S - L) * 100}{S} \dots\dots\dots (2)$$

Analisis karakteristik fisikokimia masing-masing campuran minyak dilakukan untuk memberikan gambaran mengenai sifat fisikokimia produk margarin yang dihasilkan. Parameter KLP campuran minyak LNT juga dibandingkan dengan spesifikasi pembanding untuk mengetahui kesesuaian sifat pelelehan campuran minyak LNT dengan margarin pembanding.

**Analisis kinetika kristalisasi campuran minyak**

Analisis kinetika kristalisasi dilakukan berdasarkan penelitian Chikhoun *et al.* (2020) melalui model Avrami untuk memperoleh indeks Avrami yang mencakup konstanta laju pembentukan kristal lemak (*k*) dan eksponen Avrami (*n*). Indeks Avrami masing-masing campuran minyak LNT dibandingkan dengan campuran minyak pembanding. Campuran minyak LNT dengan indeks Avrami yang tidak berbeda signifikan dengan campuran minyak pembanding menandakan kemiripan mekanisme kristalisasi lemak sehingga dapat digunakan sebagai formula pengganti campuran minyak pembanding.

Analisis ini dilakukan dengan mengukur kadar lemak padat (KLP) pada suhu 20°C setiap 2 menit pada rentang waktu 40 menit. Sampel dimasukkan ke dalam tabung NMR bersih dan kering hingga ketinggian ±2,5 cm, kemudian dipertahankan pada oven (Memmert GmbH + Co., Schwabach, Jerman) suhu 70°C selama 30 menit untuk menghilangkan kristal lemak. Tabung berisi sampel dipindahkan ke penangas air (Huber Kältemaschinenbau AG, Offenburg, Jerman) dan dipertahankan pada suhu 20°C. Nilai KLP diukur pada *Nuclear Magnetic Resonance* (NMR) Bruker Minispec mq20 *Solid Fat Content Analyzer* (Bruker®, Massachusetts, USA) (Chikhoun *et al.*, 2020). Data kenaikan KLP diplotkan ke dalam model Avrami terlinearisasi yang ditunjukkan oleh Persamaan (3):

$$\ln(-\ln(1-F)) = \ln(k) + n[\ln(t)] \dots\dots\dots (3)$$

Nilai *F* menunjukkan kadar lemak padat pada waktu *t* yang dinormalisasi melalui pembagian dengan nilai kadar lemak padat maksimal pada kondisi percobaan tersebut. Plot data antara  $\ln(-\ln(1-F))$  pada sumbu Y dengan  $\ln(t)$  pada sumbu X menghasilkan persamaan regresi model Avrami terlinearisasi. Nilai *k* dan *n* berturut-turut diperoleh dari perpotongan sumbu Y (*intercept*) dan kemiringan (*slope*) dari persamaan regresi yang diperoleh (Chikhoun *et al.*, 2020).

**Analisis data**

Analisis data dilakukan menggunakan perangkat lunak IBM® SPSS® 24, data hasil analisis dinyatakan sebagai rata-rata±SD. Nilai KLP masing-masing campuran minyak dibandingkan dengan spesifikasi pembanding, serta dibandingkan satu sama lain menggunakan uji ANOVA satu jalur atau *One-way ANOVA*, dan uji lanjut *Duncan Multiple Range Test* (DMRT) dengan taraf signifikansi 5%. Perbandingan indeks Avrami campuran minyak LNT dengan campuran minyak pembanding juga dilakukan menggunakan uji *One-way ANOVA*, dan uji lanjut *Duncan Multiple Range Test* (DMRT) dengan taraf signifikansi 5%.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Bilangan iod (BI) minyak bahan baku

Data analisis bilangan iod (BI) ditunjukkan pada Tabel 2. Hasil menunjukkan bahwa nilai BI minyak bahan baku sesuai dengan spesifikasi minyak bahan baku PT SMII. Hal ini menunjukkan bahwa minyak bahan baku dapat digunakan untuk membuat campuran minyak margarin yang sesuai dengan spesifikasi.

### Komposisi asam lemak (KAL) campuran minyak margarin

Tabel 3 menunjukkan hasil analisis KAL dari masing-masing campuran minyak. Hasil analisis menunjukkan terdeteksinya 1,11±0,01% asam elaidat (C18:1 trans) pada campuran minyak pembandingan, sedangkan pada kelompok campuran

minyak LNT tidak terdeteksi asam elaidat. Penghilangan penggunaan minyak terhidrogenasi parsial RBD PHO 1 pada campuran minyak LNT menghasilkan campuran minyak bebas asam lemak trans. Proses hidrogenasi penuh menjenuhkan ikatan rangkap asam lemak tidak jenuh secara total, sedangkan pada proses hidrogenasi parsial, penjenuhan ikatan rangkap hanya dilakukan hingga tingkat kepadatan yang ditargetkan (Mannan *et al.*, 2015). Proses hidrogenasi parsial meningkatkan peluang terjadinya isomerisasi geometris pada ikatan rangkap yang menghasilkan asam lemak trans (Ornla-ied *et al.*, 2016).

Berdasarkan rasio asam lemak jenuh dengan asam lemak tidak jenuh (Sat/Unsat), terdapat rasio yang serupa antara campuran minyak pembandingan dengan campuran minyak LNT-1. Menurut Subroto dan Nurannisa (2021), karakteristik fisik dari margarin yang mencakup plastisitas, titik leleh, dan daya oles, dipengaruhi oleh rasio kedua jenis asam lemak.

Tabel 2. Bilangan iod (BI) minyak bahan baku  
Table 2. Iodine value (IV) of the raw material oils

| Jenis Minyak (Type of Oil) | Bilangan Iod (mg iod/g sampel) (Iodine Value (mg iodine/g sample)) | Spesifikasi PT SMII (mg iod/g sampel) (PT SMII specification (mg iodine/g sample)) |
|----------------------------|--|--|
| RBD palm oil               | 52.38±0.79   | 51–53*   |
| RBD palm kernel oil        | 17.72±0.08   | 14–19*   |
| RBD FHO 1                  | 0.99±0.01  | Max 1*   |
| RBD FHO 2                  | 25.03±0.01   | 24–26*   |
| RBD FHO 3                  | 0.96±0.03  | Max 1*   |
| RBD PHO 1                  | 40.92±0.02   | 39–41*   |

Keterangan (Note): RBD FHO 1= Refined bleached deodorized fully hydrogenated oil 1; RBD FHO 2= Refined bleached deodorized fully hydrogenated oil 2; RBD FHO 3= Refined bleached deodorized fully hydrogenated oil 3; RBD PHO 1= Refined bleached deodorized partially hydrogenated oil 1

Tabel 3. Komposisi asam lemak (KAL) campuran minyak margarin (%)  
Table 3. Fatty acid composition (FAC) of the margarine oil blends (%)

| Asam Lemak (Fatty Acid)                                  | Formula Pembandingan (Reference Formula) | Formula LNT-1 (NTF-1 Formula) | Formula LNT-2 (NTF-2 Formula) | Formula LNT-3 (NTF-3 Formula) |
|--|--|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| C8:0   | 0.26±0.04                                | 0.26±0.02                     | 0.00±0.00                     | 0.21±0.01                     |
| C10:0  | 0.25±0.03                                | 0.13±0.18                     | 0.00±0.00                     | 0.00±0.00                     |
| C12:0  | 3.38±0.35                                | 2.01±0.14                     | 1.94±0.12                     | 1.90±0.04                     |
| C14:0  | 2.04±0.08                                | 1.70±0.04                     | 1.65±0.06                     | 1.62±0.01                     |
| C16:0  | 41.11±0.13                               | 42.52±0.42                    | 42.50±0.45                    | 42.29±0.04                    |
| C18:0  | 5.25±0.19                                | 6.09±0.05                     | 5.92±0.03                     | 5.68±0.02                     |
| C18:1 cis  | 37.24±0.06                               | 37.00±0.21                    | 37.48±0.55                    | 37.82±0.03                    |
| C18:1 trans  | 1.11±0.01                                | 0.00±0.00                     | 0.00±0.00                     | 0.00±0.00                     |
| C18:2  | 8.93±0.17                                | 9.83±0.08                     | 10.01±0.09                    | 10.01±0.02                    |
| Asam lemak jenuh (saturated fatty acids (Sat))           | 52.29                                    | 52.71                         | 52.01                         | 51.71                         |
| Asam tidak lemak jenuh (unsaturated fatty acids (Unsat)) | 46.17                                    | 46.83                         | 47.49                         | 47.83                         |
| Sat/Unsat*   | 1.13                                     | 1.13                          | 1.10                          | 1.08                          |
| Sat+C18:1trans/Unsat**                                   | 1.16                                     | 1.13                          | 1.10                          | 1.08                          |

Keterangan: \*Rasio asam lemak jenuh (saturated fatty acids) dengan asam lemak tidak jenuh (unsaturated fatty acids); \*\*Rasio asam lemak jenuh (saturated fatty acids) dan asam elaidat (C18:1trans) dengan asam lemak tidak jenuh (unsaturated fatty acids); Formula LNT= Formula lemak non-trans

Note: \*Ratio between saturated fatty acids with unsaturated fatty acids; \*\*Ratio between saturated fatty acids and elaidic acid (C18:1trans) with unsaturated fatty acids; NTF formula= Non-trans-fat formula

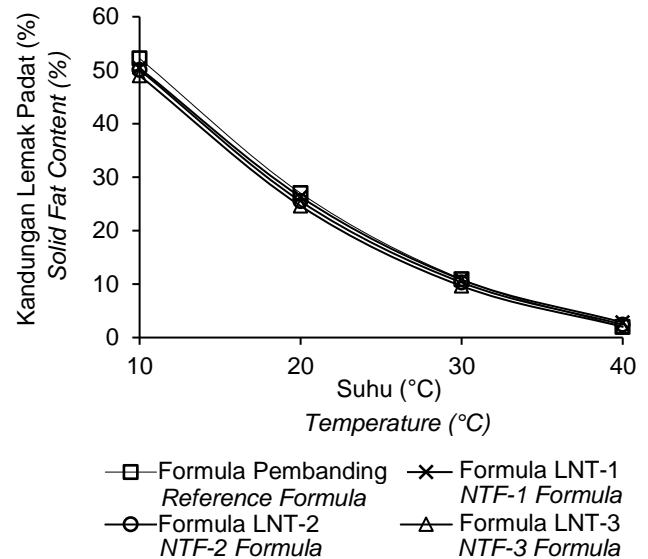
Keserupaan rasio Sat/Unsat antar campuran minyak pembanding dan campuran minyak LNT-1 mengindikasikan bahwa terdapat potensi kemiripan karakteristik fisik antara kedua campuran minyak (Ibrahim, 2013). Namun, berdasarkan penelitian De Graef *et al.* (2007), asam elaidat (C18:1 trans) memiliki kemampuan untuk menghasilkan kristal lemak dengan lebih cepat akibat konfigurasi asam lemak trans yang berbentuk relatif lurus atau linear seperti asam lemak jenuh. Hal ini memudahkan terjadinya pemadatan asam lemak pada kristal lemak dan mempercepat proses kristalisasi. Maka dari itu, penelitian ini menginisiasi perhitungan rasio asam lemak jenuh dan asam elaidat dengan asam lemak tidak jenuh (Sat+C18: 1trans/Unsat). Campuran minyak pembanding memiliki rasio Sat+C18:1trans/Unsat yang lebih tinggi dibandingkan campuran minyak kelompok LNT, sehingga dapat diindikasikan bahwa campuran minyak pembanding dapat mengkristal dengan lebih cepat dibandingkan campuran minyak kelompok LNT.

**Kandungan lemak padat (KLP) campuran minyak margarin**

Parameter KLP secara umum memberikan indikasi parameter kualitas fisik pada produk-produk lemak plastis seperti tingkat plastisitas, daya oles (*spreadibility*), tekstur, dan sifat aerasi melalui kadar lemak padat yang ditunjukkan (Hasibuan, 2012). Penentuan KLP dapat dilakukan pada rentang suhu 5-40°C untuk mensimulasikan sifat fisik produk akhir pada penggunaan dan aplikasinya, seperti daya oles pada suhu dingin (10°C) dan karakteristik sensasi mulut (*mouthfeel*) pada rentang suhu tubuh (30-40°C) (Purnama *et al.*, 2020). Kadar lemak padat berkontribusi pada 60–80% kepadatan total dari margarin (Mahjoob *et al.*, 2017).

Hasil dari analisis KLP pada masing-masing campuran minyak ditampilkan pada Tabel 4 dan Gambar 1 menunjukkan kurva profil KLP. Menurut hasil uji statistik ANOVA dan uji lanjut DMRT, nilai KLP dari masing-masing campuran minyak pada masing-masing suhu menunjukkan perbedaan signifikan ( $\alpha=0,05$ ). Walaupun begitu, nilai KLP dari campuran minyak LNT pada masing-masing suhu sesuai

dengan spesifikasi KLP pembanding, menandakan bahwa campuran minyak kelompok LNT berpotensi menghasilkan sifat fisik margarin serupa dengan pembanding.



Gambar 1. Profil kandungan lemak padat campuran minyak

Figure 1. Oil blend solid fat content profile

Nilai KLP dari masing-masing campuran minyak menunjukkan rentang nilai 48–52% pada suhu 10°C, 24–27% pada suhu 20°C, 9–11% pada suhu 30°C, dan 1–3% pada suhu 40°C. Hal tersebut menandakan bahwa masing-masing campuran minyak dapat menghasilkan margarin dengan tingkat kepadatan yang cukup kuat, daya oles, serta *mouthfeel* yang baik. Menurut Nusantoro *et al.* (2013), campuran minyak dapat menghasilkan margarin dengan tingkat kepadatan yang baik ketika menunjukkan nilai KLP 18–48% pada suhu 10–20°C. Menurut Devi dan Khatkar (2017), nilai KLP 15–25% pada suhu ruang (25°C) menandakan sifat daya oles yang baik. Selain itu, menurut dos Santos *et al.* (2014), nilai KLP kurang dari 3% pada suhu 40°C mengindikasikan kemampuan campuran minyak untuk menghasilkan *mouthfeel* yang baik tanpa tekstur seperti lilin (*waxy*).

Tabel 4. Kandungan lemak padat (KLP) campuran minyak margarin

Table 4. Solid fat content (SFC) of margarine oil blend

| Formula  | Kandungan Lemak Padat (% KLP) (Solid Fat Content (% SFC)) |                         |                         |                        |
|--|---|-------------------------|-------------------------|------------------------|
|  | 10°C  | 20°C                    | 30°C                    | 40°C                   |
| Formula pembanding (Reference formula)           | 52.19±0.23 <sup>a</sup>                                   | 27.06±0.14 <sup>a</sup> | 10.92±0.06 <sup>a</sup> | 1.98±0.03 <sup>c</sup> |
| Formula LNT-1 (NTF-1 formula)                    | 50.41±0.08 <sup>b</sup>                                   | 26.31±0.09 <sup>b</sup> | 10.81±0.13 <sup>a</sup> | 2.82±0.06 <sup>a</sup> |
| Formula LNT-2 (NTF-2 formula)                    | 50.05±0.19 <sup>c</sup>                                   | 25.48±0.18 <sup>c</sup> | 10.30±0.11 <sup>b</sup> | 2.41±0.20 <sup>b</sup> |
| Formula LNT-3 (NTF-3 formula)                    | 48.99±0.16 <sup>d</sup>                                   | 24.61±0.12 <sup>d</sup> | 9.63±0.05 <sup>c</sup>  | 2.02±0.09 <sup>c</sup> |
| Spesifikasi pembanding (Reference specification) | 48–53   | 23–27                   | 8–11                    | 1–3                    |

Keterangan: Angka pada kolom sama yang diikuti huruf yang berbeda menunjukkan perbedaan nyata berdasarkan hasil uji lanjut Duncan Multiple Range Test (DMRT) ( $\alpha=0,05$ ); Formula LNT= Formula lemak non-trans

Note: Values on the same column followed by different superscripts indicate significant differences based on Duncan Multiple Range Test (DMRT) ( $\alpha=0.05$ ); NTF formula= Non-trans-fat formula

**Kinetika kristalisasi campuran minyak margarin**

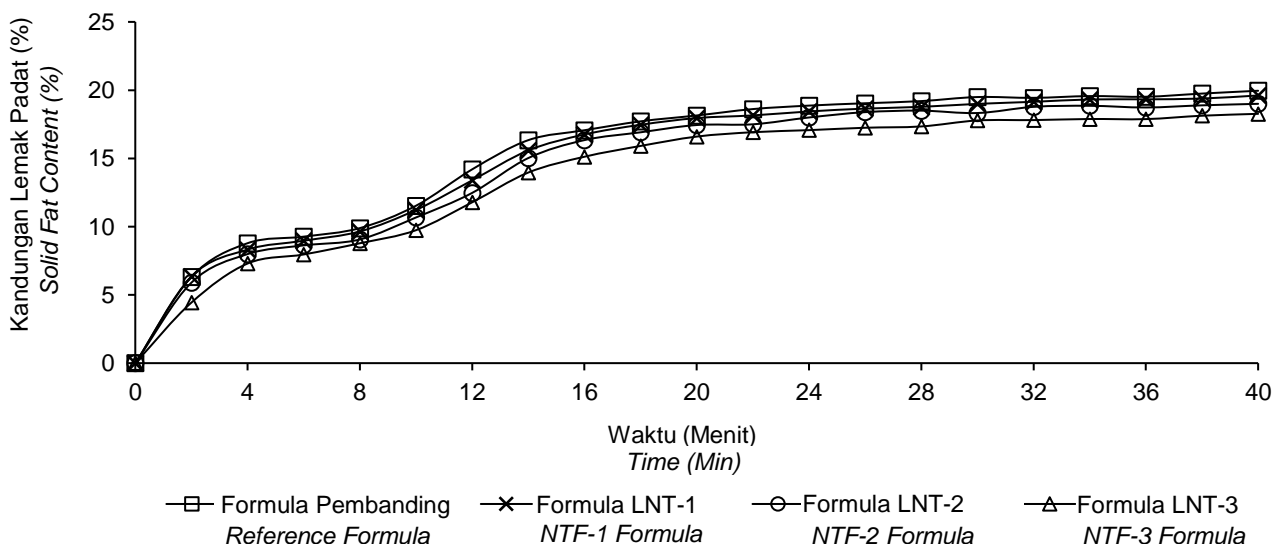
Masing-masing minyak memiliki kinetika kristalisasi berbeda yang ditentukan oleh komposisi asam lemak. Kristalisasi lemak mencakup proses pembentukan inti kristal lemak (nukleasi) dan pertumbuhan kristal lemak. Proses nukleasi ditandai oleh pembentukan inti kristal lemak ketika terjadi proses pendinginan, yang dilanjutkan oleh proses pematangan triasilgliserol minyak pada permukaan inti kristal lemak seiring terjadinya pendinginan (Mursalin *et al.*, 2016).

Pemahaman laju kristalisasi campuran minyak margarin sangat penting dalam menyeleksi campuran minyak yang sesuai, serta dalam penentuan parameter kondisi proses produksi margarin. Berdasarkan penjelasan tersebut, penelitian ini melibatkan analisis kinetika kristalisasi untuk mengetahui laju pembentukan inti kristal dan mekanisme pertumbuhan dimensional kristal lemak. Suhu kristalisasi 20°C digunakan untuk mensimulasikan kondisi pendinginan proses pembuatan margarin konvensional (Chikhoun *et al.*, 2020). Kurva kinetika kristalisasi dari masing-masing campuran minyak ditunjukkan pada Gambar 2.

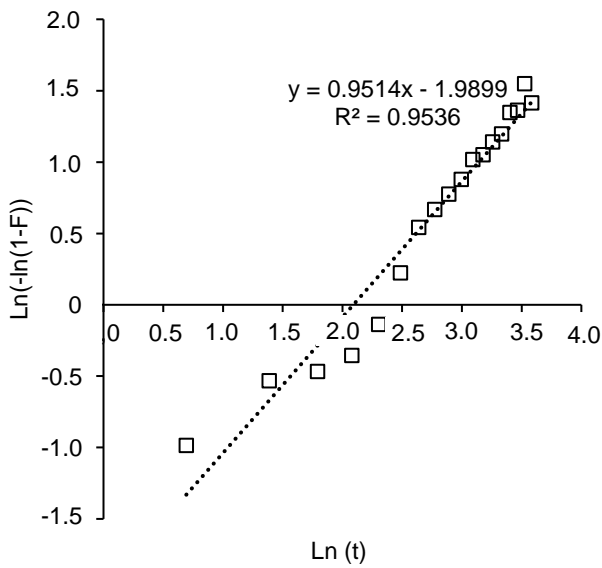
Kurva kinetika kristalisasi dianalisis lebih dalam dengan menggunakan model Avrami yang telah dilinearisasi untuk memperoleh parameter indeks Avrami yang mencakup konstanta laju pembentukan kristal lemak ( $k$ ) dan eksponen Avrami ( $n$ ). Parameter tersebut didapatkan dengan memplotkan data logaritma natural dari waktu kristalisasi atau  $\ln(t)$  pada sumbu X dan  $\ln[-\ln(1-F)]$  pada sumbu Y. Plotting data akan menghasilkan persamaan linear ( $y=ax+b$ )

dengan nilai  $a$  (*slope*) sebagai logaritma natural dari eksponen Avrami ( $n$ ) dan nilai  $b$  (*intercept*) sebagai logaritma natural dari konstanta laju pembentukan kristal lemak ( $k$ ). Nilai  $F$  menunjukkan fraksi padatan kristal yang terbentuk pada waktu kristalisasi ( $t$ ). Kurva hubungan antara  $\ln(t)$  dan  $\ln[-\ln(1-F)]$  untuk perhitungan indeks Avrami pada campuran minyak pembeding, LNT-1, LNT-2, dan LNT-3, masing-masing dapat dilihat pada Gambar 3-6. Tabel 5 menunjukkan indeks Avrami dari masing-masing campuran minyak margarin.

Nilai  $R^2$  model Avrami yang tinggi ( $R^2 > 0,90$ ) pada semua campuran minyak menunjukkan bahwa model menggambarkan proses kristalisasi dengan cukup baik. Menurut uji *Duncan Multiple Range Test* (DMRT), konstanta laju pembentukan kristal lemak dan eksponen Avrami campuran minyak pembeding dan LNT-1 tidak berbeda signifikan. Eksponen Avrami ( $n$ ) menunjukkan mekanisme pertumbuhan dimensional kristal lemak. Masing-masing campuran minyak menunjukkan nilai eksponen Avrami yang mendekati 1. Hal ini menunjukkan bahwa inti kristal lemak pada masing-masing campuran minyak bertumbuh secara 1 dimensional dan menghasilkan inti kristal berbentuk batang (*rod-shaped crystals*) (Kaneko *et al.*, 2020). Kristal lemak berbentuk batang menjadi indikasi kualitas margarin yang baik karena kristal lemak berbentuk seperti jarum-jarum halus (kristal *beta-prime* ( $\beta'$ )) menghasilkan luas permukaan yang besar untuk menstabilkan emulsi, sehingga memberikan tekstur margarin yang lembut dan tidak kasar (Devi dan Khatkar, 2017).

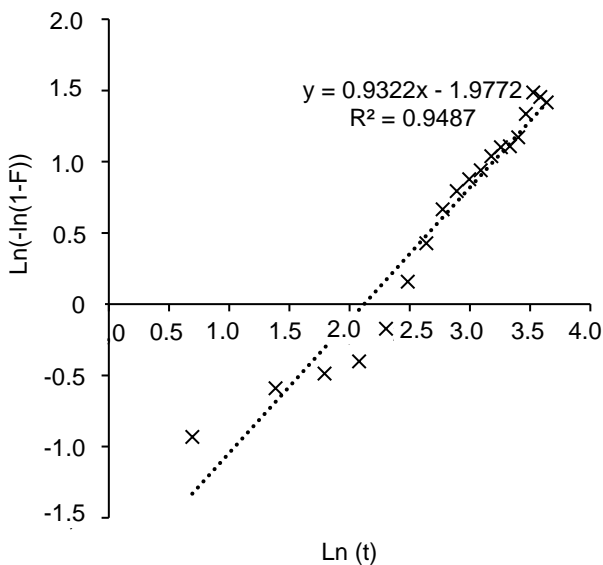


Gambar 2. Kinetika kristalisasi campuran minyak pada suhu kristalisasi 20°C  
 Figure 2. Crystallization kinetics of oil blends under the 20°C crystallization temperature



Gambar 3. Hubungan  $\ln(t)$  dengan  $\ln[-\ln(1-F)]$  untuk perhitungan indeks Avrami campuran minyak pembanding pada suhu kristalisasi 20°C

Figure 3. Correlation between  $\ln(t)$  and  $\ln[-\ln(1-F)]$  for reference oil blend Avrami index calculation under the 20°C temperature

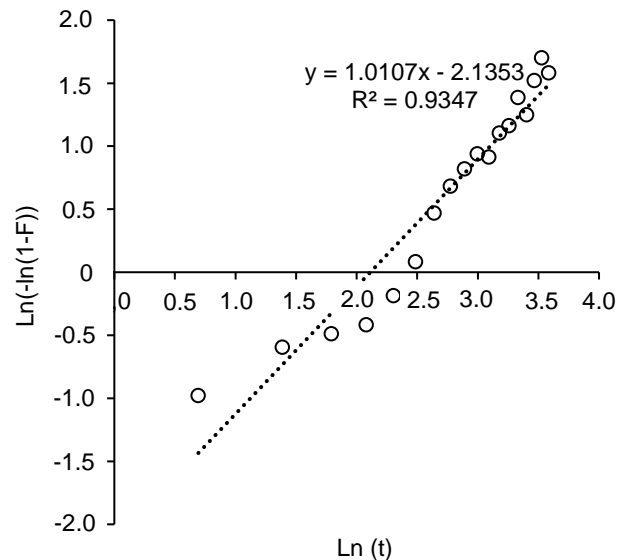


Gambar 4. Hubungan  $\ln(t)$  dengan  $\ln[-\ln(1-F)]$  untuk perhitungan indeks Avrami campuran minyak LNT-1 pada suhu kristalisasi 20°C

Figure 4. Correlation between  $\ln(t)$  and  $\ln[-\ln(1-F)]$  for NTF-1 oil blend Avrami index calculation under the 20°C temperature

Kurva kinetika kristalisasi masing-masing campuran minyak menunjukkan bahwa masing-masing campuran minyak memiliki nilai konstanta laju pembentukan kristal lemak yang juga berbeda. Pada kelompok campuran minyak LNT terdapat penurunan

nilai konstanta laju pembentukan kristal lemak seiring dengan penurunan konsentrasi minyak pematid RBD FHO 2. Penurunan konsentrasi RBD FHO 2 menurunkan proporsi asam palmitat (C16:0) dan asam stearat (C18:0) yang dapat mengkristal dengan cepat. Menurut Müller dan Careglio (2018), asam palmitat dan asam stearat berkontribusi sebagai inisiator kristalisasi karena titik lelehnya yang tinggi, yaitu 63°C pada asam palmitat dan 69°C pada asam stearat.



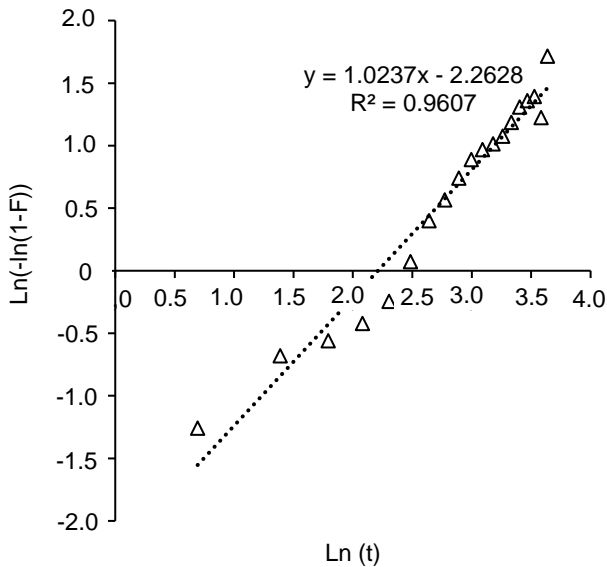
Gambar 5. Hubungan  $\ln(t)$  dengan  $\ln[-\ln(1-F)]$  untuk perhitungan indeks Avrami campuran minyak LNT-2 pada suhu kristalisasi 20°C

Figure 5. Correlation between  $\ln(t)$  and  $\ln[-\ln(1-F)]$  for NTF-2 oil blend Avrami index calculation under the 20°C temperature

Campuran minyak pembanding memiliki konstanta laju pembentukan kristal lemak yang paling tinggi dibandingkan campuran minyak kelompok LNT akibat terdapatnya asam elaidat (C18:1trans) pada campuran minyak pembanding. Menurut dos Santos *et al.* (2014), kandungan asam lemak trans pada campuran minyak dapat meningkatkan nilai konstanta laju pembentukan kristal lemak karena konfigurasi molekul yang lebih linear dibandingkan dengan isomer cis yang memiliki lekukan rantai asam lemak pada ikatan ganda. Bentuk linear tersebut memudahkan molekul triasilgliserol (TAG) untuk membentuk konformasi padat inti kristal lemak, yang pada akhirnya mempercepat laju pembentukan kristal lemak. Menurut Meng *et al.* (2014), laju pembentukan kristal lemak yang tinggi dengan nilai eksponen Avrami yang rendah mengindikasikan sifat fisik lemak plastis yang lembut karena kristalisasi terjadi secara cepat, jumlah kristal yang dihasilkan tinggi, serta ukuran kristal lemak kecil. Selain itu, menurut



Menea *et al.* (2013), apabila laju pembentukan kristal lemak lebih rendah, maka proses kristalisasi margarin harus dilakukan lebih lama serta diperlukannya tingkat pendinginan (*supercooling*) yang lebih tinggi.



Gambar 6. Hubungan  $\ln(t)$  dengan  $\ln[-\ln(1-F)]$  untuk perhitungan indeks Avrami campuran minyak LNT-3 pada suhu kristalisasi 20°C

Figure 6. Correlation between  $\ln(t)$  and  $\ln[-\ln(1-F)]$  for NTF-3 oil blend Avrami index calculation under the 20°C temperature

Nilai indeks Avrami campuran minyak LNT-1 dan campuran minyak pembanding yang tidak berbeda signifikan mengindikasikan mekanisme pertumbuhan dimensional dari kristal lemak yang serupa pada kedua campuran minyak. Menurut Singh *et al.* (2004), campuran minyak dengan indeks Avrami yang serupa dapat menghasilkan sifat fisik yang serupa. Maka dari itu, dapat diketahui bahwa campuran minyak LNT-1 berpotensi menghasilkan sifat fisik yang serupa dengan campuran minyak pembanding dan dapat digunakan sebagai pengganti campuran minyak pembanding dalam produksi margarin.

Tabel 5. Indeks Avrami masing-masing campuran minyak margarin  
Table 5. Avrami index of each margarine oil blend

| Formula   | Eksponen Avrami (n) ( <i>Avrami Exponent (n)</i> ) | Konstanta Laju Pembentukan Kristal Lemak (k) (menit <sup>-n</sup> ) ( <i>Crystallization Rate Constant (k) (min<sup>-n</sup>)</i> ) |
|---|--|---|
| Formula pembanding ( <i>Reference formula</i> ) | 0.93±0.02 <sup>a</sup>                             | 0.1413±0.0047 <sup>a</sup>  |
| Formula LNT-1 ( <i>NTF-1 formula</i> )          | 0.94±0.01 <sup>a</sup>                             | 0.1369±0.0016 <sup>a</sup>  |
| Formula LNT-2 ( <i>NTF-2 formula</i> )          | 1.00±0.02 <sup>b</sup>                             | 0.1198±0.0031 <sup>b</sup>  |
| Formula LNT-3 ( <i>NTF-3 formula</i> )          | 1.02±0.01 <sup>b</sup>                             | 0.1026±0.0009 <sup>c</sup>  |

Keterangan: Angka pada kolom sama yang diikuti huruf yang berbeda menunjukkan perbedaan nyata berdasarkan hasil uji lanjut *Duncan Multiple Range Test* (DMRT) ( $\alpha=0,05$ ); Formula LNT= Formula lemak non-trans

Note: Values on the same column followed by different superscripts indicate significant differences based on *Duncan Multiple Range Test* (DMRT) ( $\alpha=0.05$ ); NTF formula= Non-trans-fat formula

## KESIMPULAN

Campuran minyak pembanding dan campuran minyak LNT-1 berturut-turut memiliki nilai konstanta laju pembentukan kristal lemak (*k*) sebesar 0,1413±0,0047 menit<sup>-n</sup> dan 0,1369±0,0016 menit<sup>-n</sup>; sedangkan mekanisme pertumbuhan dimensional kristal lemak yang ditunjukkan oleh eksponen Avrami (*n*) pada campuran minyak pembanding dan campuran minyak LNT-1 berturut-turut adalah 0,93±0,02 dan 0,94±0,01. Campuran minyak LNT-1 dengan sifat pelelehan yang sesuai dengan spesifikasi pembanding dan kinetika kristalisasi yang serupa dengan campuran minyak pembanding dapat digunakan sebagai campuran minyak bebas asam lemak trans pengganti campuran minyak pembanding dalam produksi margarin.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis penulis sampaikan kepada PT. Sinar Meadow International Indonesia (SMII) atas bantuan pelaksanaan penelitian berupa penyediaan alat, bahan, serta fasilitas laboratorium.

## DAFTAR PUSTAKA

[AOCS] American Oil Chemists' Society. 2009. Official Methods and Recommended Practice of The American Oil Chemists' Society. Champaign (US): AOAC Inc.

[BPOM] Badan Pengawas Obat dan Makanan. 2019. Peraturan Kepala Badan Pengawas Obat dan Makanan Republik Indonesia Nomor 34 Tahun 2019 Tentang Kategori Pangan. Jakarta (ID): Badan Pengawas Obat dan Makanan.

Chikhoun A, Shashkov M, Piligaev AV, Lee J, Boudjellal A, Martini S. 2020. Isothermal crystallization of palm oil-based fats with and without the addition of essential oils. *J Am Oil Chem Soc* 97: 861-878. <https://doi.org/10.1002/aocs.12378>

- Devi A, Khatkar BS. 2017. Thermo-physical properties of fats and oils. *Int J Eng Technical Res* 7: 45–50.
- Domingues MAF, Ribeiro APB, Kieckbusch TG, Gioielli LA, Grimaldi R, Cardoso LP, Gonçalves LAG. 2015. Advances in lipids crystallization technology. *Advanced Topics in Crystallization 2015*: 105-132. <https://doi.org/10.5772/59767>
- De Graef DV, Foubert I, Smith KW, Cain FW, Dewettinck K. 2007. Crystallization behavior and texture of trans-containing and trans-free palm oil based confectionery fats. *J Agric Food Chem* 55: 10258-10265. <https://doi.org/10.1021/jf071967q>
- dos Santos MT, Gerbaud V, Le Roux GAC. 2014. Solid fat content of vegetable oils and simulation of interesterification reaction: Predictions from thermodynamic approach. *J Food Eng* 126: 198-205. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.11.012>
- Hasibuan HA. 2012. Kajian mutu dan karakteristik minyak sawit Indonesia serta produk fraksinasi-nya. *J Standardisasi* 14: 13-21. <https://doi.org/10.31153/js.v14i1.51>
- Hasibuan HA, Hardika AP. 2015. Formulasi dan pengolahan margarin menggunakan fraksi minyak sawit pada skala industri kecil serta aplikasinya dalam pembuatan bolu gulung. *Agritech* 35: 377-386. <https://doi.org/10.22146/agritech.9321>
- Ibrahim NA. 2013. Characteristics of Malaysian palm kernel and its products. *J Oil Palm Res* 25: 245–252.
- Kanagaratnam S, Tiu TK, Ismail NH, Hassim NAM, Isa WRA, Dian NLHM. 2021. Characteristics of retail refrigerated and non-refrigerated margarines/fat spreads sold in Malaysia. *J Oil Palm Res* 33: 689-702. <https://doi.org/10.21894/jopr.2021.0006>
- Kaneko F, Yamamoto Y, Yoshikawa S. 2020. Structural study on fat crystallization process heterogeneously induced by graphite surfaces. *Molecules* 25: 4786. <https://doi.org/10.3390/molecules25204786>
- Li Y, Zhao J, Xie X, Zhang Z, Zhang N, Wang Y. 2018. A low *trans* margarine fat analog to beef tallow for healthier formulations: Optimization of enzymatic interesterification using soybean oil and fully hydrogenated palm oil. *Food Chem* 255: 405-413. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.02.086>
- Mahjoub R, Nafchi AM, Amiri EO, Farmani J. 2017. An investigation on the physicochemical characterization of interesterified blends of fully hydrogenated palm olein and soybean oil. *Food Sci Biotechnol* 27: 343-352. <https://doi.org/10.1007/s10068-017-0262-4>
- Mannan H, Mahjoub P, Ghazaleh M, Naficeh S, Reza OM, Behrooz J. 2015. Trans fatty acids profile in different commercial brands of margarine. *Anal Chem Lett* 4: 279-286. <https://doi.org/10.1080/22297928.2014.972979>
- Menaa F, Menaa A, Tréton J, Menaa B. 2013. Technological approaches to minimize industrial trans fatty acids in foods. *J Food Sci* 78: R377-R386. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12055>
- Meng Z, Yang L, Geng W, Yao Y, Wang X, Liu Y. 2014. Kinetic study on the isothermal and non-isothermal crystallization of monoglyceride organogels. *Scientific World J* 2014: 1-7. <https://doi.org/10.1155/2014/149753>
- [MPOB] Malaysian Palm Oil Board. 2004. MPOB Test Methods—A Compendium of Test on Palm Oil Products, Palm Kernel Products, Fatty Acids, Food Related Products, and Others. Kuala Lumpur (MY): Malaysian Palm Oil Board.
- Müller M, Careglio E. 2018. Influence of free fatty acids as additives on the crystallization kinetics of cocoa butter. *J Food Res* 7: 86-97. <https://doi.org/10.5539/jfr.v7n5p86>
- Mursalin, Hariyadi P, Purnomo EH, Andarwulan N, Fardiaz D. 2016. Crystallization kinetics of coconut oil based on avrami model. *Int Food Res J* 23: 1355-1360.
- Nusantoro BP, De Clercq N, Anthierens K, Dewettinck K. 2013. Changing the SFC profile of lauric fat blends based on melting group triacylglycerol formulation. *J Am Oil Chem Soc* 90: 1607-1619. <https://doi.org/10.1007/s11746-013-2312-2>
- Ornla-ied P, Sonwai S, Lertthirasuntorn S. 2016. Trans-free margarine fat produced using enzymatic interesterification of rice bran oil and hard palm stearin. *Food Sci Biotechnol* 25: 673-680. <https://doi.org/10.1007/s10068-016-0118-3>
- Purnama KO, Setyaningsih D, Hambali E, Taniwiryo-no D. 2020. Processing, characteristics, and potential application of red palm oil-A review. *Int J Oil Palm* 3: 40–55. <https://doi.org/10.35876/ijop.v3i2.47>
- Sabry A, Hashem H, Sayed B. 2020. Effect of using rice bran oil in spreadable fats preparation on quality criteria during cold storage. *Al-Azhar J Agric Res* 45: 49-61. <https://doi.org/10.21608/ajar.2020.149674>
- Singh AP, Bertoli C, Rousset PR, Marangoni AG. 2004. Matching avrami indices achieves similar hardnesses in palm oil-based fats. *J Agr Food*

- Chem 52: 1551-1557. <https://doi.org/10.1021/jf034653l>
- Subroto E, Nurannisa RL. 2021. The recent application of palm stearin in food industry: A review. *Int J Sci Technol Res* 9: 2593-2597.
- Te Morenga L, Montez JM. 2017. Health effects of saturated and trans-fatty acid intake in children and adolescents: Systematic review and meta-analysis. *Plos One* 12: 1-20. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0186672>
- [WHO] World Health Organization. 2020. REPLACE Trans Fat: An Action Package to Eliminate Industrially Produced Trans-Fatty Acids. Geneva (CH): World Health Organization.
- Zaeromali M, Nateghi L, Yousefi M. 2014. Production of industrial margarine with low trans fatty acids and investigation of physicochemical properties. *Eur J Exp Biol* 4: 583-586.
- Zhang Z, Shim YY, Ma X, Huang H, Wang Y. 2018. Solid fat content and bakery characteristics of interesterified beef tallow-palm mid fraction based margarines. *RSC Adv* 8: 12390-12399. <https://doi.org/10.1039/C8RA00769A>