

Pengaruh Penambahan Nanoselulosa terhadap Stabilitas Emulsi Santan sebagai Encapsulan Kurkumin: Stabilitas Emulsi dan Kurkumin

[The Effect of Nanocellulose Addition on the Stability of Coconut Milk Emulsion as Curcumin Encapsulant: Emulsion Stability and Curcumin]

Amaliatul Khusna¹⁾, Chatarina Lilis Suryani¹⁾, Thunnalin Winuprasith²⁾, Saptya Fajar Pertiwi³⁾, Erista Adisetia⁴⁾, dan Ichlasia Ainul Fitri^{1)*}

¹⁾ Department of Agricultural Product Technology, University of Mercu Buana Yogyakarta, Karanglo, Indonesia

²⁾ Department of Food Science for Nutrition, Institute of Nutrition, Mahidol University, Nakhon Pathom, Thailand

³⁾ Food Department, North Sulawesi, Manado, Indonesia

⁴⁾ Department of Agricultural Product Technology, Institut Pertanian Stiper, Yogyakarta, Indonesia

Diterima 27 Desember 2022 / Disetujui 7 Agustus 2023

ABSTRACT

Curcumin is a bioactive compound characterized by its non-polar nature and low stability. Encapsulation of curcumin using emulsion system such as coconut milk can increase its stability. However, emulsion systems tend to become unstable during food processing and storage. Therefore, stabilizers and emulsifiers are necessary to ensure stability. Natural stabilizers are preferred over synthetic ones. In this study, nanocelluloses, including nanocrystalline and nanofibrillated cellulose, were used as a stabilizer, and whey protein isolate (WPI) was used as an emulsifier. The primary objective of this study was to investigate the impact of different types and concentrations of nanocellulose on the stability of curcumin and oil-in-water (o/w) emulsions in coconut milk. Two types of commercial nanocellulose materials were utilized: nanocrystalline cellulose (NCC) and nanofibrillated cellulose (NFC). Additionally, a combination of both NCC and NFC was used at concentrations of 0.125 and 0.25% (w/w). The results revealed that the viscosity increased as the concentration of nanocellulose increased. The particle size increased at higher concentrations of NFC and the combination of NCC and NFC, while it decreased with increasing NCC concentration. The lightness value (L^*) decreased with higher concentrations of nanocellulose in all sample types. However, this difference was not visually significant. In terms of curcumin stability, the addition of nanocellulose, particularly NFC at a concentration of 0.25%, led to an increase in stability. Higher viscosity resulted in an extended shelf life because it slowed down the rate of creaming index as compared to the control emulsion. Increasing the concentration of nanocellulose enhanced the effectiveness of maintaining the stability of curcumin and oil-in-water emulsions in coconut milk due to the higher viscosity. NFC as well as the combination of NFC and NCC at a concentration of 0.25% proved to be the most preferable option for achieving the highest stability.

Keywords: curcumin, emulsion, nanocrystalline cellulose (NCC), nanofibrillated cellulose (NFC)

ABSTRAK

Kurkumin adalah komponen bioaktif yang bersifat non-polar dan memiliki stabilitas yang rendah oleh sebab itu perlu dienkapsulasi menggunakan sistem emulsi seperti santan kelapa untuk meningkatkan stabilitasnya. Namun, sistem emulsi umumnya bersifat tidak stabil selama pengolahan dan penyimpanan maka perlu penambahan penstabil dan *emulsifier*. Saat ini, penggunaan penstabil alami lebih direkomendasikan daripada sintetik seperti nanoselulosa khususnya nanokristalin dan nanofiber selulosa yang dapat digunakan sebagai penstabil, dan *whey protein isolate* (WPI) yang digunakan sebagai *emulsifier*. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi pengaruh penambahan jenis dan konsentrasi nanoselulosa terhadap stabilitas emulsi santan kelapa dan kurkumin. Terdapat dua jenis nanoselulosa komersial yang digunakan yaitu nanokristalin selulosa (NCC) dan nanofibril selulosa (NFC), dan dipakai juga kombinasi NCC dan NFC (1:1) pada konsentrasi 0,125 dan 0,25% (b/b). Hasil penelitian menunjukkan, terjadi peningkatan viskositas seiring peningkatan konsentrasi nanoselulosa. Ukuran partikel mengalami peningkatan seiring peningkatan konsentrasi nanoselulosa terutama NFC dan kombinasi NCC dan NFC, namun menurun seiring peningkatan konsentrasi NCC. Nilai kecerahan (L^*) mengalami penurunan dengan meningkatnya konsentrasi nanoselulosa. Peningkatan konsentrasi hingga 0,25% mampu meningkatkan viskositas emulsi santan kelapa sehingga emulsi lebih stabil. Penambahan nanoselulosa menurunkan jumlah kehilangan kurkumin sejak hari ke-1 sampai hari ke 14. Semakin besar konsentrasi yang ditambahkan maka akan lebih efektif untuk mempertahankan stabilitas kurkumin dalam emulsi. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa NFC dan kombinasi NFC dan NCC pada konsentrasi 0,25% lebih direkomendasikan sebagai penstabil alami untuk meningkatkan stabilitas emulsi dan kurkumin.

Kata Kunci: emulsi, kurkumin, nanofibril selulosa (NFC), nanokristalin selulosa (NCC)

*Penulis Korespondensi: E-mail: ichlasiaaf@gmail.com

PENDAHULUAN

Kurkumin (*Curcuma longa* Linn) adalah salah satu senyawa polifenolik hidrofobik yang umumnya ada pada rhizome tanaman. Pada umumnya kurkumin bersifat hidrofobik atau sukar larut dalam air, kelarutan rendah pada benzena dan kloroform, tetapi cukup larut dalam alkohol dan asam asetat glasial (Parthasarathy *et al.*, 2008; Wahyuningtyas *et al.*, 2017). Berdasarkan permasalahan tersebut, diperlukan upaya untuk meningkatkan kelarutan kurkumin yaitu dengan metode enkapsulasi. Enkapsulasi merupakan suatu metode untuk melapisi bahan padat, cair, ataupun gas yang cukup sensitif contohnya enzim, aroma, rasa, vitamin, mineral, dan pewarna. Komponen tersebut disebut sebagai inti bahan yang dilindungi dan bahan pelapis disebut sebagai pelindung. Salah satu metode enkapsulasi yang dapat digunakan untuk melindungi kurkumin adalah emulsi. Hal ini karena kurkumin merupakan komponen hidrofobik dan lebih mudah larut dalam fase minyak.

Emulsi terdiri atas dua fase yaitu polar dan non-polar, umumnya bersifat tidak stabil secara termodinamika karena adanya dua fase cair yang berbeda. Terdapat 2 jenis emulsi yaitu emulsi *oil-in-water* dan *water-in-oil*. Emulsi *oil-in-water* lebih tepat untuk digunakan sebagai pelindung atau *carrier* untuk kurkumin. Pada fase *oil-in-water*, fase non polar sebagai fase terdispersi dan fase polar sebagai fase kontinyu. Santan kelapa merupakan salah satu jenis emulsi *oil-in-water* yang umumnya digunakan oleh masyarakat sebagai bahan utama memasak, bahkan saat ini banyak jenis santan dalam bentuk instan. Santan dapat digunakan sebagai pelindung dari komponen kurkumin. Namun, santan segar maupun dalam kemasan cenderung tidak stabil selama penyimpanan seperti terbentuknya droplet minyak dan air yang terpisah atau *creaming*. Oleh sebab itu, santan kelapa perlu distabilkan dengan *emulsifier* maupun penstabil. Terdapat berbagai komponen yang dapat digunakan sebagai *emulsifier* maupun penstabil seperti surfaktan dan fosfolipid. Namun, penggunaan *emulsifier* dan penstabil dengan pemanfaatan bahan alami lebih disarankan daripada bahan sintesis, misalnya seperti nanoselulosa karena memiliki karakteristik yang unik seperti *sustainability*, biodegradabilitas, densitas yang rendah ($1,566 \text{ g/cm}^3$), aman, ketersediaan melimpah serta biaya yang relatif murah (Bhat *et al.*, 2017).

Nanoselulosa memiliki karakteristik yang unik seperti kekuatan daya tarik (*tensile strength*) yang cukup tinggi (Norizan *et al.*, 2022), sehingga dapat bertindak sebagai penstabil dalam sistem emulsi *oil-in-water* seperti santan. Terdapat 2 jenis nanoselulosa yang digunakan yaitu *nanocrystalline cellulose* (NCC) dan *nanofibrillated cellulose* (NFC). Keduanya memiliki karakteristik yang berbeda. NCC umumnya

dihidrolisis dengan asam, seperti asam sulfat yang mampu menghidrolisis bagian amorfos sehingga hanya bagian kristalin yang tersisa (Lu *et al.*, 2012). Berbeda dengan NCC, NFC memiliki karakteristik seperti serat panjang dan berlipat karena memiliki 2 bagian yang masih tersisa yaitu kristalin dan amorfos (Jiang *et al.*, 2013). Penelitian sebelumnya oleh Fitri *et al.* (2022) menjelaskan bahwa penggunaan nanoselulosa jenis nanokristalin selulosa (*nanocrystalline cellulose*, NCC) dan nanofibril selulosa (*nanofibrillated cellulose*, NFC) mampu meningkatkan stabilitas sistem emulsi *oil-in-water* melalui pelambatan mobilitas droplet minyak. Oleh sebab itu, konfirmasi melalui sistem emulsi produk pangan secara langsung seperti santan.

Pada penelitian ini santan digunakan sebagai pelindung kurkumin. Pengaruh jenis nanoselulosa seperti NCC, NFC, dan kombinasi keduanya terhadap kemampuan mengenkapsulasi kurkumin, pengaruhnya terhadap stabilitas kurkumin serta emulsi santan itu sendiri. Penggunaan NCC dan NFC bertujuan sebagai penstabil untuk emulsi santan, dan diharapkan dapat meminimalisir kerusakan kurkumin selama penyimpanan. Sepengetahuan peneliti, belum adanya penelitian terkait penggunaan kombinasi dari kedua jenis nanoselulosa dalam menstabilkan kurkumin dalam emulsi santan. Studi ini memiliki implikasi penting untuk pemanfaatan bahan penstabil alami dalam pengembangan sistem emulsi pelindung komponen bioaktif yang ramah lingkungan.

BAHAN DAN METODE

Bahan

Nanocrystalline cellulose (NCC) dan *nanofibrillated cellulose* (NFC) yang diimpor dari Cellulose Lab Company, Kanada. Kelapa parut yang dibeli dari pasar tradisional di Yogyakarta. Bubuk kurkumin, natrium azide, *whey protein isolate* (WPI), dan aquades (Chem-Mix Pratama).

Persiapan nanoselulosa

Persiapan nanoselulosa dilakukan berdasarkan penelitian Fitri *et al.* (2022) dengan beberapa modifikasi. Tahap persiapan NCC, NFC, dan kombinasi nanoselulosa pada konsentrasi 0,125 dan 0,25% diantaranya meliputi, dilakukan penimbangan masing-masing 12,2% NCC dan 3% NFC di *beaker glass* lalu ditambahkan aquades. Selanjutnya, larutan NCC dan NFC diaduk menggunakan *stirrer* selama 1 jam pada suhu 25°C dengan kecepatan 60 rpm. Kombinasi nanoselulosa dipersiapkan dengan cara pencampuran 12,2% NCC dan 3% NFC dengan perbandingan 1:1 (w/w) di dalam *beaker glass* dan selanjutnya ditambahkan aquades, kemudian dihomogenisasi selama 1 jam pada suhu 25°C dengan kecepatan 60 rpm.

Persiapan emulsi

Persiapan emulsi *oil-in-water* santan mengacu pada penelitian Tangshuphoom dan Coupland (2009). Tahapan produksi emulsi *oil-in-water* santan meliputi pamarutan daging kelapa lalu pencampuran dengan aquades dengan perbandingan 2:1. Campuran disaring menggunakan kain saring untuk memisahkan dengan residu padatan. Selanjutnya, larutan yang terdiri dari 99% (w/w) santan, 0,01% natrium azida, sebagai antimikroba, 1% (w/w) WPI, dan 0,005% (w/w) kurkumin dicampur. Kemudian, campuran dihomogenisasi menggunakan *high speed mixer* (T25 digital Ultra-Turax, Jerman) dengan kecepatan 5000 rpm selama 5 menit. Berikutnya, larutan emulsi santan diaduk dengan *stirrer* selama 1 jam pada suhu kamar (25°C) (Winuprasith *et al.*, 2015). Sebanyak 10 mL larutan nanoselulosa ditambahkan dengan konsentrasi akhir nanoselulosa sebesar 0,125 dan 0,25% (b/b) pada setiap jenis perlakuan nanoselulosa (NCC, NFC, dan kombinasi NCC dan NFC). Kemudian larutan dihomogenkan kembali selama 1 jam dengan kecepatan 150 rpm pada suhu 25°C (Winuprasith *et al.*, 2015). Sampel disimpan dalam botol sebagai emulsi *oil-in-water* santan segar, dan seluruh permukaan ditutup menggunakan aluminium foil.

Analisis warna

Pengukuran warna pada emulsi *oil-in-water* santan mengacu pada penelitian Winuprasith *et al.* (2015) yang dilakukan pada hari ke-1 melalui parameter L^* , a^* , b^* dengan colorimeter seri 3NH NH310 (Shenzhen Threenh Technology Co., Ltd, China). Sistem warna, L^* mengindikasikan kecerahan, dan a^* dan b^* merupakan koordinat warna: a mengindikasikan merah, dan b ialah kuning. Analisis warna meliputi tahapan berikut: sebanyak 15 mL sampel dituangkan ke dalam botol analisis, kemudian ditutup rapat. Selanjutnya, warna dianalisis menggunakan colorimeter. Perubahan warna (ΔE) dihitung melalui persamaan (1) untuk mengidentifikasi adanya perbedaan antara penambahan dan tanpa penambahan nanoselulosa dengan rumus sebagai berikut:

$$\Delta E = \sqrt{(L_{ii}^* - L_i^*)^2 + (a_{ii}^* - a_i^*)^2 + (b_{ii}^* - b_i^*)^2} \dots\dots\dots (1)$$

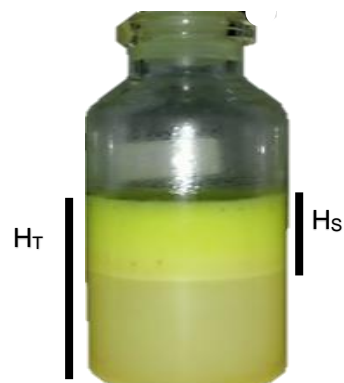
i adalah emulsi *oil-in-water* dengan kandungan kurkumin, dan tanpa penambahan nanoselulosa. ii ialah sampel emulsi *oil-in-water* dengan kandungan kurkumin dengan penambahan NCC, NFC dan kombinasi NCC dan NFC dengan konsentrasi 0,125 dan 0,25%.

Indeks *creaming*

Indeks *creaming* dianalisis berdasarkan metode Keowmaneechai dan McClements (2002). Emulsi santan sebanyak 15 mL dipindahkan ke dalam botol

kaca transparan kemudian botol kaca transparan ditutup dengan *aluminium foil*. Botol sampel disimpan pada suhu kamar (25°C) dan tempat yang gelap. Selanjutnya, *creaming index* (CI) atau perpisahan 2 lapisan dicatat pada 1 hari, 3 hari, dan 7 hari dengan perhitungan tinggi lapisan serum (H_s) dibagi dengan tinggi total emulsi dalam tabung (H_T) (Gambar 1). Persamaan rumusnya sebagai berikut:

$$CI (\%) = \frac{H_s}{H_T} \times 100 \dots\dots\dots (2)$$



Gambar 1. Pengukuran indeks *creaming* berdasarkan perbandingan antara tinggi total emulsi dalam tabung (H_T) dan tinggi lapisan serum (H_s)

Figure 1. Measurement of *creaming index* based on the comparison between the total height of the emulsion in the tube (H_T) and the height of the serum layer (H_s)

Analisis ukuran partikel

Ukuran partikel dianalisis berdasarkan metode Lawrence *et al.* (2000) menggunakan alat *particle size analyzer* (PSA) (Microtac Nanotracc Wave II PT. Principle USA, Amerika Serikat). Sampel emulsi pada hari ke-1 ketika belum terjadi *creaming* diencerkan sebanyak 20 kali, Selanjutnya, dimasukkan ke dalam cuvet hingga mencapai 2/3 dari tinggi keseluruhan cuvet. Kemudian cuvet berisi sampel dimasukkan ke dalam *particle size analyzer* untuk dianalisis. Diameter partikel dilaporkan sebagai *volume-weighted mean diameter* (d_{43}).

Analisis viskositas

Pengukuran viskositas berdasarkan metode Suseno *et al.* (2017) menggunakan viskometer Brookfield (DV-E, Amerika Serikat). Pada pengukuran ini, nilai viskositas didapatkan dengan mengukur gaya puntir sebuah rotor silinder (*spindle*) yang dicelupkan ke dalam emulsi *oil-in-water* santan. Viskometer Brookfield memungkinkan untuk mengukur viskositas dengan menggunakan teknik dalam

viscometry. Selama pengukuran, bahan emulsi harus diam di dalam wadah sementara porous bergerak sambil direndam dalam cairan. Sampel yang diukur kekentalannya disiapkan dalam gelas ukur 100 mL. Gelas ukur diisi sampel hingga spindle terendam.

Stabilitas kurkumin

Stabilitas kurkumin pada emulsi santan dianalisis berdasarkan metode Zhang *et al.* (2009) dengan modifikasi. Stabilitas kurkumin dianalisa menggunakan Spektrofotometer UV Vis Mini (Shimadzu Corporation, Jepang) yaitu pada hari ke-1, 7, dan hari ke-14 dengan cara sebagai berikut: sebanyak 1 mL emulsi santan dimasukkan ke dalam tabung reaksi. Kemudian etanol 95% ditambahkan sebanyak 10 mL. Sampel kemudian divorteks selama 1 menit dan didiamkan selama 1 jam dengan ditutup rapat menggunakan aluminium foil. Setelah itu, divorteks kembali ±30 detik dan disaring dengan kertas saring Whatman. Selanjutnya sampel disentrifuse selama 10 menit dengan kecepatan 60 rpm, kemudian ditera dengan Spektrofotometer pada panjang gelombang 431 nm. Konsentrasi kurkumin ditentukan dengan menggunakan kurva kalibrasi standar (R²= 0,990). Seluruh perlakuan dijauhkan dari kontak cahaya. Perolehan nilai stabilitas kurkumin dihitung berdasarkan jumlah kurkumin yang hilang selama penyimpanan. Perhitungan stabilitas kurkumin diperoleh melalui persamaan berikut:

$$\% \text{ Kurkumin} = \frac{x \times fp \times v}{w} \times 100\% \dots\dots\dots (3)$$

$$\% \text{ Kadar Kurkumin yang Hilang} = \frac{\text{kurkumin hari sebelumnya} - \text{kurkumin hari pengukuran}}{\text{kurkumin hari sebelumnya}} \times 100\% \dots\dots\dots (4)$$

Konsentrasi sampel saat pengukuran (x), faktor pengenceran (fp), volume tabung (v), bobot sampel (w).

Analisis statistik

Semua hasil pengujian dilaporkan sebagai rata-rata dan standar deviasi. Analisis varian satu arah (ANOVA) dan Duncan *Multiple Range Test* dilakukan untuk melihat perbedaan signifikan (p<0,05) antar perlakuan. Analisis statistik dilakukan menggunakan program SPSS versi 19.0.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh penambahan nanoselulosa terhadap warna emulsi oil-in-water santan kelapa

Pengaruh jenis dan konsentrasi nanoselulosa pada intensitas warna emulsi oil-in-water santan kelapa disajikan pada Tabel 1. Intensitas warna yang dianalisis adalah kecerahan (L*), kemerahan (a*), kekuningan (b*), dan perbedaan warna total (ΔE). Seluruh perlakuan pada emulsi santan memperlihatkan warna kuning pucat karena adanya penambahan kurkumin (Gambar 1) seperti terlihat oleh nilai -a* dan +b* yang tinggi pada seluruh sampel emulsi oil-in-water santan. Kurkumin adalah komponen bioaktif tanaman kunyit (*Curcuma longa*) yang paling aktif, tidak stabil, dan juga memiliki berbagai aktivitas biologis dan farmakologis yang bermanfaat seperti antioksidan, anti inflamasi, antimikroba, dan anti-kanker (Anggoro *et al.*, 2015). Emulsi oil-in-water santan tanpa penambahan nanoselulosa memiliki L* yang lebih rendah jika dibandingkan emulsi oil-in-water santan yang mengandung nanoselulosa pada seluruh konsentrasi. Pengukuran L* dilakukan pada emulsi segar hari ke 1 yang belum mengalami *creaming*. Parameter kecerahan (L*) berkaitan dengan besar kecilnya ukuran droplet minyak. Hal ini karena emulsi memiliki rentang ukuran droplet minyak dalam kondisi bervariasi dan beragum sehingga jumlah gelombang cahaya yang dihamburkan juga akan berbeda pada tiap ukuran droplet minyak.

Tabel 1. Pengaruh penambahan nanoselulosa terhadap intensitas warna (L*, a*, b*) emulsi oil-in-water santan

Table 1. The effect of nanocellulose addition on colour intensity (L*, a*, b*) of oil-in-water coconut milk emulsions containing curcumin

| Jenis Nanoselulosa (Nanocellulose Type) | Konsentrasi (%) (Concentration %) | L* | a* | b* | ΔE |
|---|-----------------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Kontrol (Control) | 0 | 79.01±0.09 ^b | -3.77±0.14 ^e | 27.26±0.05 ^d | - |
| NCC | 0.125 | 80.19±0.25 ^e | -5.06±0.06 ^a | 27.44±0.22 ^d | 1.75±0.06 ^a |
| NCC | 0.25 | 79.41±0.18 ^c | -4.67±0.12 ^b | 25.43±0.33 ^c | 2.05±0.17 ^b |
| NFC | 0.125 | 79.90±0.15 ^{de} | -3.08±0.03 ^f | 22.83±0.13 ^a | 4.57±0.05 ^d |
| NFC | 0.25 | 79.80±0.33 ^d | -4.45±0.07 ^c | 24.95±0.19 ^b | 2.48±0.16 ^c |
| Kombinasi (Combination) | 0.125 | 79.74±0.07 ^{cd} | -3.63±0.18 ^e | 25.62±0.03 ^c | 1.81±0.02 ^{ab} |
| Kombinasi (Combination) | 0.25 | 78.23±0.10 ^a | -4.06±0.07 ^d | 25.59±0.27 ^c | 1.87±0.22 ^{ab} |

Keterangan: Pengujian dilakukan sebanyak tiga kali ulangan. Nilai mean ± standar deviasi pada kolom yang sama (a-f) menunjukkan perbedaan yang signifikan (p<0,05)

Note: Influence of nanocellulose on colour intensity (L*, a*, b*) of oil-in-water emulsions containing curcumin. Mean ± SD from different treatments designated with different letters (a-f) in the same column were significantly different (Duncan, p<0.05)

Droplet minyak dengan ukuran yang lebih besar mampu menyerap cahaya dalam jumlah lebih banyak. Pada Tabel 1, nilai kecerahan (L^*) mengalami penurunan nilai seiring meningkatnya penambahan konsentrasi nanoselulosa pada semua jenis nanoselulosa. Penambahan NCC dengan konsentrasi 0,125 dan 0,25% secara berurutan menghasilkan nilai kecerahan (L^*) sebesar 80,19 dan 79,41. Penambahan NFC dengan konsentrasi 0,125 dan 0,25% secara berurutan memiliki nilai kecerahan (L^*) sebesar 79,90 dan 78,90. Selanjutnya sampel kombinasi (NCC dan NFC) dengan konsentrasi 0,125 dan 0,25% secara berurutan menghasilkan nilai kecerahan (L^*) sebesar 79,74 dan 78,23. Nilai kecerahan (L^*) menurun dapat terjadi karena semakin meningkatnya penambahan konsentrasi nanoselulosa, sehingga menyebabkan nilai viskositas semakin tinggi. Nilai viskositas yang semakin tinggi mampu menyerap lebih banyak cahaya, akibatnya menurunkan nilai L^* (Wang *et al.*, 2022).

Selain itu, penurunan nilai kecerahan (L^*) disebabkan oleh adanya pigmen warna kuning pada kurkumin sehingga menghasilkan warna yang semakin gelap atau menurunnya nilai L^* . Faktor karakteristik warna dari nanoselulosa yang ditambahkan ke dalam sampel juga berpengaruh terhadap nilai kecerahan (L^*) pada sampel emulsi. NCC dan NFC memiliki karakteristik warna yang berwarna putih keruh sehingga dapat memengaruhi penurunan nilai kecerahan (L^*) karena akan menyebabkan sampel menjadi berwarna lebih pekat dengan ukuran partikel yang lebih besar. Hal ini disebabkan karena pengukuran warna didasarkan pada prinsip hamburan cahaya. Partikel minyak yang kecil memiliki kemampuan untuk menyebarkan cahaya lebih banyak daripada partikel minyak ukuran besar (Mitbunrung *et al.*, 2022).

Nilai warna ($-a^*$ dan $+b^*$) dari semua sampel dengan penambahan nanoselulosa berbagai konsentrasi menunjukkan warna kuning cerah. Terdapat perbedaan yang signifikan ($p < 0,05$), tetapi perbedaan warna pada setiap sampel tidak dapat dibedakan oleh mata manusia secara langsung. Menurut Anisuzzaman *et al.* (2014), perubahan nilai ΔE dipengaruhi beberapa faktor, antara lain tingkat kecerahan (L^*), nilai a^* (perbedaan warna merah) dan nilai b^* (perbedaan warna kuning). Terdapat perbedaan yang signifikan ($p < 0,05$) pada warna total (ΔE) dari kontrol dan penambahan nanoselulosa pada semua konsentrasi. Nilai perbedaan warna total (ΔE) pada penambahan NCC meningkat seiring peningkatan konsentrasi. Pada penambahan NFC dan Kombinasi (NCC dan NFC) terjadi penurunan nilai perbedaan warna total (ΔE). Walaupun terjadi penurunan dan peningkatan nilai perbedaan warna total (ΔE). Namun, perubahan warna antara tanpa penambahan

dan dengan penambahan nanoselulosa tidak terlihat secara visual. Suatu emulsi dikatakan stabil apabila berisi droplet dengan bentuk yang seragam, mampu mempertahankan warna aslinya, dan tidak mudah terdegradasi (Ostbring *et al.*, 2021). Peningkatan maupun penurunan nilai ΔE dapat terjadi karena jenis dan konsentrasi penambahan nanoselulosa yang berpengaruh pada perubahan warna yang terjadi pada emulsi.

Pengaruh penambahan nanoselulosa terhadap ukuran partikel emulsi *oil-in-water* santan kelapa

Tabel 2 menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan ($p < 0,05$) pada seluruh sampel emulsi dengan penambahan nanoselulosa dengan berbagai konsentrasi. Emulsi tanpa penambahan nanoselulosa menunjukkan ukuran lebih besar dibandingkan dengan penambahan nanoselulosa pada semua konsentrasi. Hasil data menunjukkan bahwa, untuk NCC menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi NCC menyebabkan penurunan nilai ukuran partikel dari 28,33 menjadi 26,80 dengan meningkatnya konsentrasi dari 0,125 menjadi 0,25%. Peningkatan konsentrasi NCC menyebabkan droplet lemak memiliki ukuran partikel lebih kecil. Dijelaskan oleh Fitri *et al.* (2022) bahwa karakteristik asli dari NCC adalah seperti serpihan benang tipis dan pendek dengan luas permukaan yang besar. Hal ini terjadi karena NCC berbeda dengan selulosa lainnya, pada NCC hanya memiliki komponen *crystalline* dan tidak memiliki komponen *amorphouse* oleh sebab itu antara fase minyak dan air tersebar secara merata dengan ukuran yang lebih kecil. Selain itu, partikel pada NCC memiliki aspek rasio yang lebih kecil dan membentuk jaringan terikat satu sama lain yang lemah yang mengakibatkan mudah hancur (Winuprasith dan Suphantharika, 2015). Hal ini juga disebabkan oleh spesifikasi nanoselulosa yang digunakan, NCC memiliki ukuran lebih kecil yaitu 0,32 nm dibandingkan NFC yang memiliki ukuran partikel 0,83 nm.

Pada sampel penambahan jenis nanoselulosa NFC dan Kombinasi (NCC dan NFC) pada konsentrasi 0,125 dan 0,25%, terjadi peningkatan nilai ukuran partikel yang signifikan ($p < 0,05$) seiring peningkatan konsentrasi yang ditambahkan. Hasil menunjukkan bahwa, nilai ukuran partikel dengan penambahan konsentrasi NFC secara berturut-turut dari 5,93 menjadi 25,16. Kemudian dari penambahan konsentrasi jenis Kombinasi (NCC dan NFC) secara berturut-turut dari 18,00 menjadi 33,36. Hal ini dapat terjadi bahwa NFC yang digunakan dalam bentuk struktur gel yang kuat karena ikatan hidrogen antara nanofibril dan memiliki struktur 3 dimensi dari lipatan serat (Isogai, 2013). Oleh karena itu, NFC sangat memengaruhi viskositas pada fase pendispersi (Tabel 2) (Winuprasith dan Suphantharika, 2015).

Tabel 2. Pengaruh penambahan nanoselulosa terhadap enkapsulasi efisiensi, ukuran partikel dan viskositas emulsi *oil-in-water* santanTable 2. The effect of nanocellulose addition on encapsulation efficiency, particle size and viscosity of *oil-in-water* coconut milk emulsions containing curcumin

| Jenis Nanoselulosa (<i>Nanocellulose Type</i>) | Konsentrasi (%) (<i>Concentration (%)</i>) | Enkapsulasi Efisiensi (%) (<i>Encapsulation Efficiency (%)</i>) | Ukuran Partikel (d_{43}) (nm) (<i>Particle Size (nm)</i>) | Viskositas (cP) (<i>Viscosity (cP)</i>) |
|---|---|--|---|--|
| Kontrol (<i>Control</i>) | 0 | 90.79±0.54 ^a | 45.36±1.39 ^g | 9.01±0.01 ^b |
| NCC | 0.125 | 94.88±0.03 ^d | 28.33±1.66 ^e | 8.90±0.01 ^a |
| NCC | 0.250 | 94.05±0.01 ^e | 26.80±2.45 ^d | 9.08±0.01 ^c |
| NFC | 0.125 | 92.78±1.53 ^b | 5.93±4.40 ^a | 9.14±0.01 ^d |
| NFC | 0.25 | 95.66±0.01 ^f | 25.16±5.19 ^c | 9.17±0.01 ^e |
| Kombinasi (<i>Combination</i>) | 0.125 | 94.20±0.03 ^c | 18.00±5.32 ^b | 9.20±0.01 ^f |
| Kombinasi (<i>Combination</i>) | 0.25 | 93.64±1.50 ^c | 33.36±3.08 ^f | 9.22±0.02 ^f |

Keterangan: Pengujian dilakukan sebanyak tiga kali ulangan. Nilai mean ± standar deviasi pada kolom yang sama (a-f) menunjukkan perbedaan yang signifikan ($p < 0,05$)

Note: Influence of nanocellulose on particle size of *oil-in-water* emulsions containing curcumin. Samples designated with different letters (a-f) were significantly different (Duncan, $p < 0.05$)

Peningkatan konsentrasi NFC meningkatkan ukuran tetesan minyak emulsi sehingga kemungkinan terjadi flokulasi pada droplet minyak. Hal ini dibuktikan pada distribusi ukuran partikel (d_{43}) pada Gambar 2 yang menunjukkan terbentuknya lebih dari 2 puncak. Namun berbeda dari flokulasi pada umumnya yang terjadi akibat bergabungnya droplet-droplet minyak menjadi satu bagian. Flokulasi yang ditimbulkan oleh NFC akibat gel serat pada NFC mampu berperan sebagai penghubung antar droplet minyak sehingga posisi masing-masing droplet akan tetap dan tidak mengalami pergerakan bebas dan mampu menghambat perpisahan antara fase minyak dan air (Fitri *et al.*, 2021), serta membantu memperlambat perpisahan 2 fase secara gravitasi (*creaming*). Oleh karena itu, dimungkinkan untuk mengurangi laju agregasi tetesan, *coalescence* dan penggabungan (Degner *et al.*, 2014). Ukuran partikel yang diperoleh merupakan nilai distribusi ukuran partikel (d_{43}), nilai ini lebih sensitif dengan adanya partikel besar dalam sistem polidispersi sehingga dapat digunakan untuk mengidentifikasi sejumlah kecil koalesensi atau flokulasi dalam emulsi (McClements, 2015). Flokulasi yang terjadi pada emulsi yang distabilkan oleh NFC dikarenakan struktur NFC yang memiliki struktur fibril belitan yang panjang sehingga dapat berperan sebagai jembatan antar droplet minyak, sehingga menginduksi flokulasi droplet minyak (Varanasi *et al.*, 2013). Fenomena ini dapat dijelaskan dalam hal efek stabilisasi dengan meningkatkan viskositas fase kontinu oleh jaringan NFC tiga dimensi, sehingga mencegah agregasi tetesan dan penggabungan.

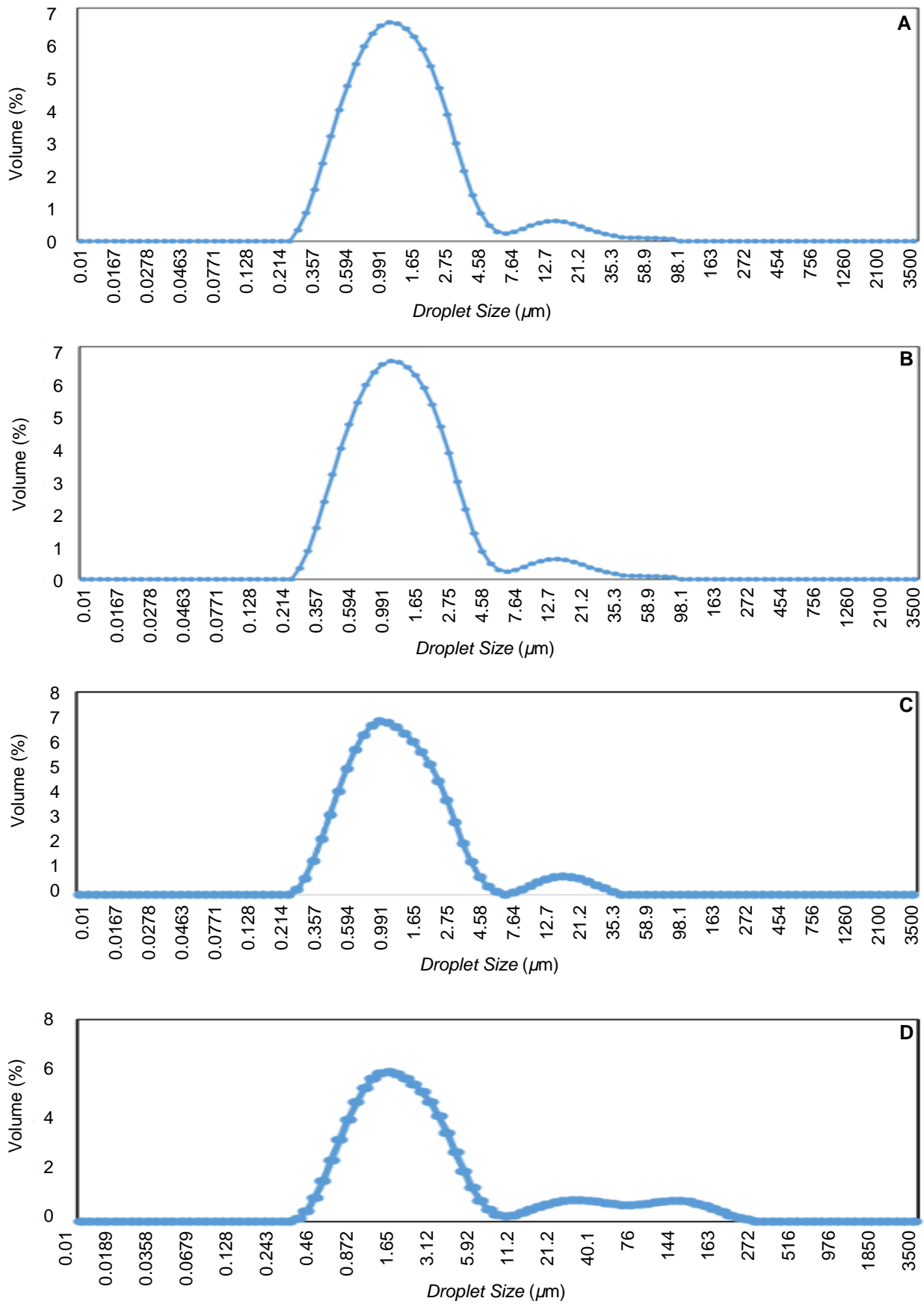
Hal tersebut juga dilaporkan oleh Capitani *et al.* (2016), bahwa keberadaan polisakarida dapat menstabilkan emulsi berdasarkan struktur hidrofilik yang memberikan kapasitas untuk meningkatkan viskositas pada fase kontinu, hal itu dapat mengurangi

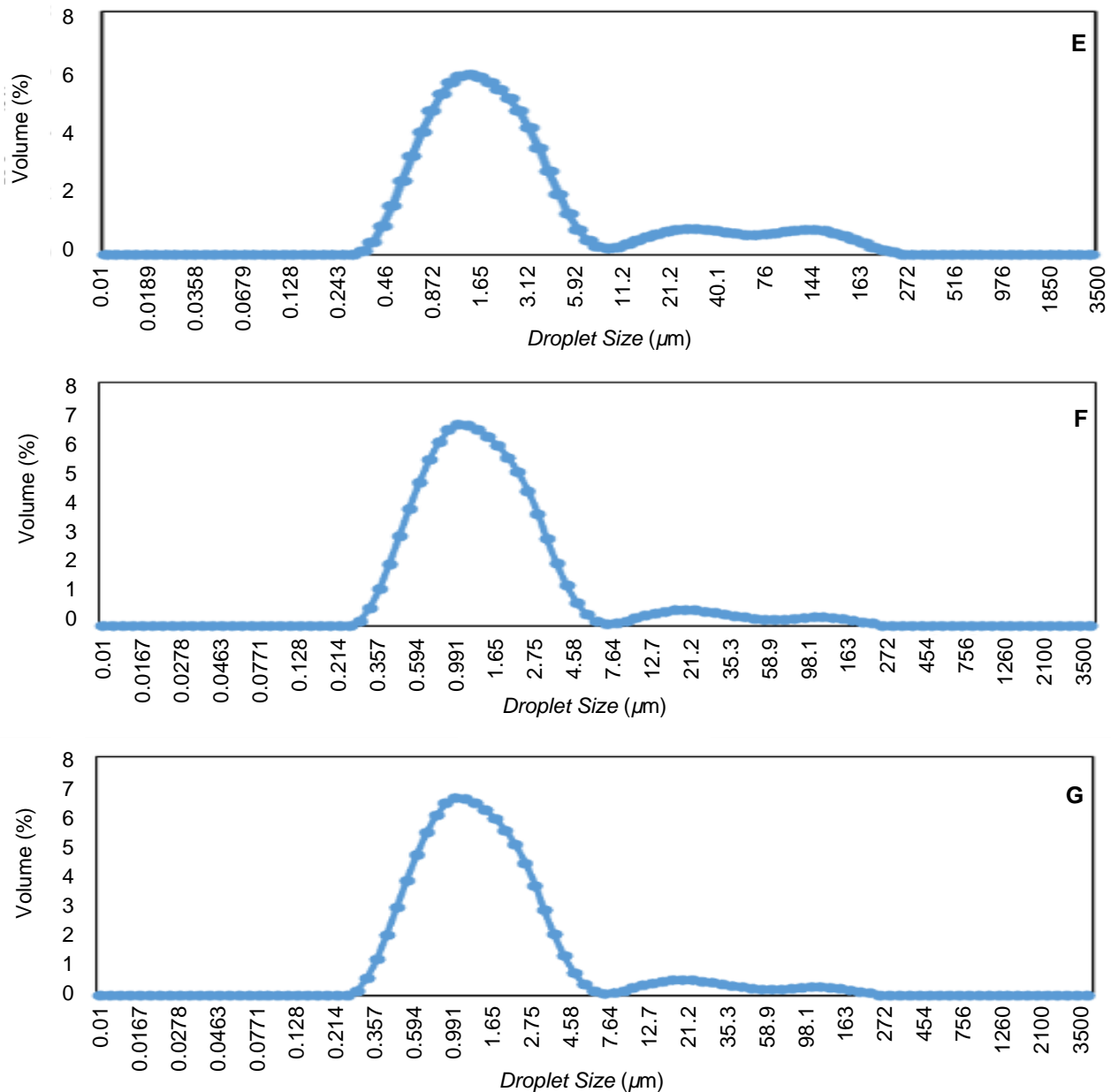
pergerakan droplet minyak dalam sistem sehingga terhindar dari koalesensi. Namun, pada konsentrasi 0,125% NFC didapatkan hasil yang sangat berbeda dari jenis nanoselulosa lainnya. Menurut Ni *et al.* (2016) hasil ini mungkin terjadi karena ukuran droplet emulsi memiliki keragaman karena viskositas pada fase kontinu yang berubah oleh adanya padatan serat yang ditambahkan (Mitbunrung *et al.*, 2020); (Cookson dan Stirk, 2019).

Selain itu, diketahui bahwa emulsi yang distabilkan menggunakan partikel yang memiliki ukuran tetesan relatif besar seperti NFC dibandingkan dengan surfaktan molekul kecil ataupun protein, maka hasil yang akan didapatkan jauh lebih baik terutama dalam hal stabilitas (McClements, 2015; Mitbunrung *et al.*, 2020). NFC memiliki kinetika adsorpsi yang lebih lambat, potensi penghambat yang lebih tinggi untuk adsorpsi partikel, dan energi desorpsi yang tinggi. Kinetika adsorpsi yang lebih lambat menyebabkan lamanya penyatuan kembali antar droplet minyak selama tubrukan tetesan maupun partikel selama homogenisasi (Winuprasith dan Suphantharika, 2015). Penghalang adsorpsi yang tinggi memiliki efek pada pengurangan kemungkinan penyatuan partikel ke antarmuka selama homogenisasi (Rayner *et al.*, 2012).

Pengaruh penambahan nanoselulosa terhadap viskositas emulsi *oil-in-water* santan kelapa

Tabel 2 menunjukkan adanya perbedaan yang nyata ($p < 0,05$) pada emulsi *oil-in-water* santan tanpa penambahan nanoselulosa dan dengan penambahan nanoselulosa. Nilai viskositas semakin meningkat dengan peningkatan konsentrasi nanoselulosa. Tingginya nilai viskositas membantu menghambat droplet bergerak secara bebas akibatnya droplet minyak akan tetap berada pada posisi semula, hal ini menyebabkan emulsi lebih stabil.





Gambar 2. Pengaruh penambahan nanoselulosa terhadap distribusi ukuran partikel emulsi *oil-in-water* santan (A) Kontrol (B) NCC 0.125% (C) NCC 0.25% (D) NFC 0.125% (E) NFC 0.25% (F) kombinasi 0.125% (G) kombinasi 0.25%

Figure 2. The effect of nanocellulose addition on particle size distribution of *oil-in-water* coconut milk emulsions containing curcumin (A) control (B) NCC 0.125% (C) NCC 0.25% (D) NFC 0.125% (E) NFC 0.25% (F) combination 0.125% (G) combination 0.25%

Tabel 2 menunjukkan bahwa viskositas emulsi berkaitan erat dengan konsentrasi NCC dan NFC yang ditambahkan. Hal ini dikarenakan, semakin meningkatnya konsentrasi penambahan NCC, NFC dan kombinasi, maka mampu mengikat antar droplet minyak dengan serat yang dimilikinya dan membentuk jaringan tiga dimensi yang memberikan karakteristik serat yang terikat satu sama lain sehingga meningkatkan stabilitas emulsi (Winuprasith dan Suphantharika, 2015). Hasil penelitian lain juga melain-

porakan bahwa, terjadi sifat *shear thinning* dari beberapa emulsi yang distabilkan oleh fibril nanoselulosa (Carrillo *et al.*, 2015). Hasil data penelitian yang diperoleh juga sesuai dengan penelitian lain yang menggunakan selulosa sebagai pengemulsi dan menemukan bahwa penambahan konsentrasi yang semakin meningkat, maka secara signifikan dapat meningkatkan viskositas fase kontinu dan membentuk jaringan polimer.

Pengaruh penambahan nanoselulosa terhadap laju *creaming* emulsi *oil-in-water* santan

Indeks *creaming* (%) dari semua sampel emulsi ditunjukkan pada Gambar 3. Indeks *creaming* digunakan untuk menentukan pemisahan fase dalam emulsi yang disebabkan oleh gaya gravitasi yang memberikan gambaran tentang perilaku *creaming* emulsi *oil-in-water* santan. *Creaming* merupakan prekursor untuk emulsi yang tidak stabil secara termodinamika, khususnya flokulasi dan koalesensi (Rayner *et al.*, 2012). Gambar 4 menunjukkan seluruh sampel tergolong stabil pada hari ke-0 kecuali sampel *oil in water emulsi* santan tanpa penambahan nanoselulosa yang menunjukkan sudah terbentuknya perpisahan dua layer sejak hari ke-0. Pada hari ke-1 sampel dengan penambahan nanoselulosa baru mengalami *creaming*, laju *creaming* semakin lambat dengan peningkatan konsentrasi nanoselulosa.

Terlihat Gambar 4 bahwa, sampel kontrol emulsi memiliki indeks *creaming* tertinggi dibandingkan sampel emulsi dengan penambahan nanoselulosa pada seluruh konsentrasi. Penambahan NCC, NFC, dan Kombinasi (NCC dan NFC) dari konsentrasi 0,125 sampai 0,25% dapat memperlambat dan menurunkan laju *creaming* selama masa pengamatan 7 hari (Gambar 5). Namun, penambahan berbagai jenis nanoselulosa dengan konsentrasi 0,25% lebih efektif untuk memperlambat dan menurunkan laju *creaming* dibandingkan penambahan konsentrasi 0,125%.

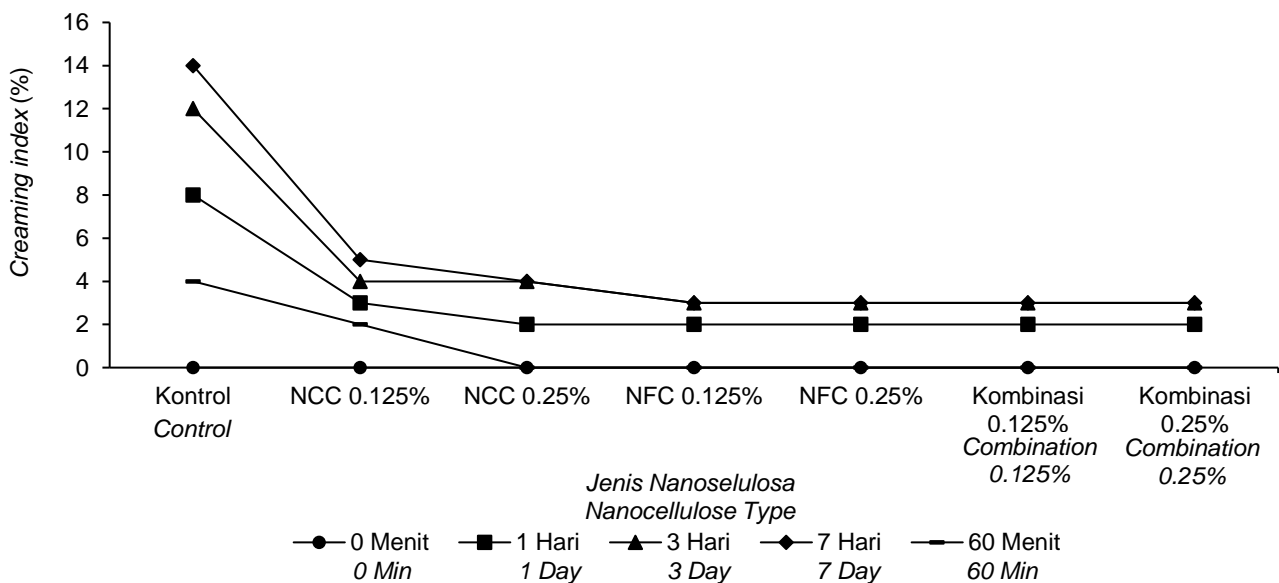
Penurunan indeks *creaming* sangat berhubungan erat dengan nilai viskositas pada sampel emulsi. Hasil analisis viskositas menunjukkan bahwa adanya penambahan NCC dan NFC dengan konsentrasi yang semakin tinggi menyebabkan meningkatnya nilai viskositas pada suatu sampel emulsi yang

mampu mencegah gerakan droplet minyak ke atas, sehingga mencegah laju *creaming* (Fitri *et al.*, 2022). Menurut hukum Stoke, stabilitas *creaming* emulsi dapat ditingkatkan dengan meningkatkan viskositas pada fase kontinyu (Cookson dan Stirk, 2019). Dengan meningkatnya konsentrasi nanoselulosa yang ditambahkan, nilai viskositas akan meningkat. Selain itu, NCC dan NFC memiliki struktur yang lebih padat dari air yang dibuktikan dengan peningkatan viskositas oleh nanoselulosa dalam suspensi encer (0,125 dan 0,25%) (Winuprasith dan Suphantharika, 2015).

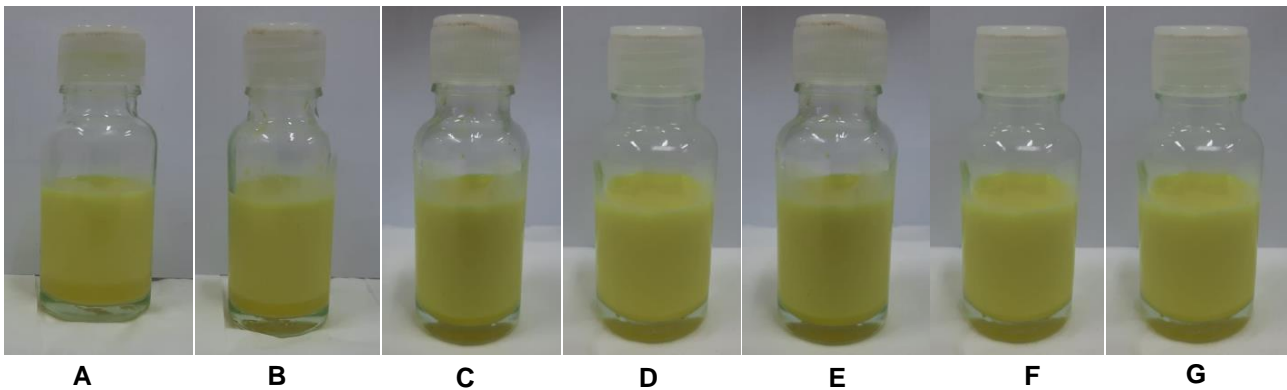
Oleh karena itu, penambahan konsentrasi nanoselulosa yang tinggi (0,25%) diperlukan untuk menstabilkan sistem emulsi secara lebih efisien, sehingga emulsi *oil-in-water* santan memiliki daya simpan yang lebih lama karena lambatnya laju *creaming*. Demikian Li *et al.* (2018) juga melaporkan bahwa regenerasi selulosa pada konsentrasi yang lebih tinggi menghasilkan emulsi (o/w) yang lebih stabil karena adsorpsi selulosa pada permukaan droplet meminimalkan perbedaan densitas antara minyak dan fase kontinyu yang membantu meningkatkan stabilitas emulsi (Mitbumrung *et al.*, 2020).

Pengaruh penambahan nanoselulosa terhadap stabilitas kurkumin emulsi *oil-in-water* santan

Tabel 2 menunjukkan bahwa penambahan nanoselulosa mampu meningkatkan efisiensi enkapsulasi kurkumin >90%. Pengaruh penambahan NCC dan NFC secara tunggal dan kombinasi (NCC dan NFC) pada konsentrasi 0,125 dan 0,25% terhadap stabilitas kurkumin pada emulsi *oil-in-water* santan ditunjukkan pada Tabel 3.



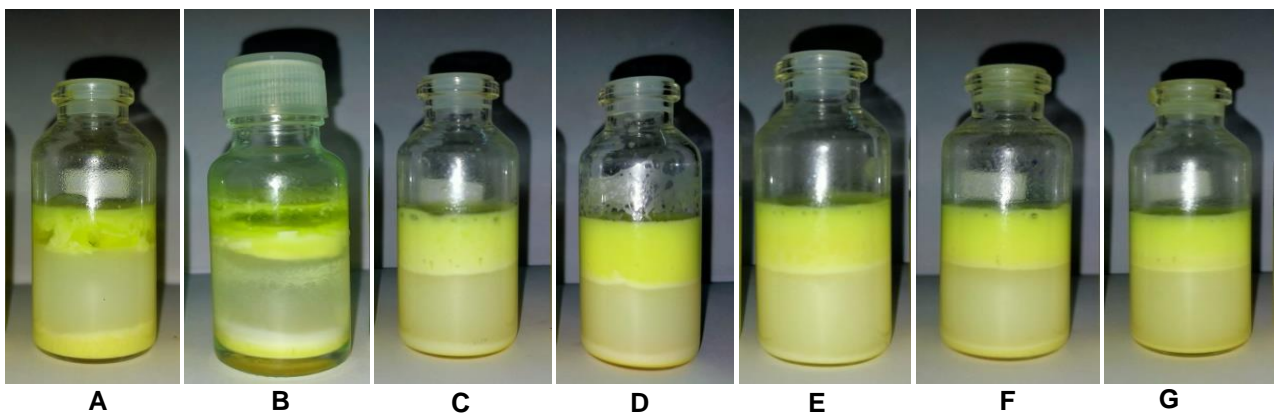
Gambar 3. Indeks *creaming* emulsi *oil-in-water* santan selama 7 hari penyimpanan
 Figure 3. *Creaming index* in *oil-in-water* coconut milk emulsions during 7 days



Keterangan: A= Kontrol; B= NCC 0,125%; C= NCC 0,25%; D= NFC 0,125%; E= NFC 0,25%; F= Kombinasi 0,125%; G= Kombinasi 0,125%

Note: A= Control; B= NCC 0.125%; C= NCC 0.25%; D= NFC 0.125%; E= NFC 0.25%; F= Combination 0.125%; G= Combination 0.125%

Gambar 4. Creaming hari ke-0
Figure 4. Creaming day-0



Keterangan: A= Kontrol; B= NCC 0,125%; C= NCC 0,25%; D= NFC 0,125%; E= NFC 0,25%; F= Kombinasi 0,125%; G= Kombinasi 0,125%

Note: A= Control; B= NCC 0.125%; C= NCC 0.25%; D= NFC 0.125%; E= NFC 0.25%; F= Combination 0.125%; G= Combination 0.125%

Gambar 5. Creaming Hari Ke-7
Figure 5. Creaming day-7

Kehilangan kurkumin terjadi di semua emulsi *oil-in-water* santan seiring dengan lamanya waktu penyimpanan (1, 7, 14, 28 hari). Berdasarkan Tabel 3, kontrol emulsi *oil-in-water* santan memiliki Kehilangan kurkumin paling tinggi jika dibandingkan dengan penambahan semua jenis nanoselulosa (NCC, NFC, Kombinasi). Penambahan nanoselulosa memiliki kemampuan mempertahankan kurkumin yang lebih besar terutama pada NFC dan kombinasi konsentrasi 0,25%. Hal ini dikarenakan, semakin banyak jumlah konsentrasi yang ditambahkan maka lebih efektif untuk mempertahankan kurkumin dalam emulsi *oil-in-water* santan. Emulsi yang mengandung penambahan konsentrasi yang lebih tinggi memiliki nilai

viskositas yang lebih tinggi pula dibandingkan pada konsentrasi 0,125% ataupun tanpa penambahan nanoselulosa, hal tersebut menurunkan luas area permukaan emulsi akibatnya sedikit interaksi dengan kondisi lingkungan yang tidak sesuai khususnya oksigen, suhu, dan cahaya. Dampaknya adalah meningkatnya stabilitas kurkumin (Liu *et al.*, 2018). Viskositas yang meningkat dengan adanya NCC dan NFC mampu menghambat pergerakan oksigen maupun senyawa lainnya yang mungkin kontak dengan kurkumin. Hal yang sama diungkapkan oleh Fan *et al.* (2013) apabila viskositas beberapa larutan meningkat maka degradasi senyawa bioaktif mampu dihambat.

Tabel 3. Pengaruh penambahan nanoselulosa terhadap stabilitas kurkumin emulsi *oil-in-water* santan pada hari ke-0 sampai hari ke-28

Table 3. The effect of nanocellulose addition on curcumin stability of *oil-in-water* coconut milk emulsions containing curcumin

| Jenis Nanoselulosa (Nanocellulose Type) | Konsentrasi (%) (Concentration (%)) | Kadar Kurkumin yang Hilang (Curcumin Loss) | | | |
|--|---|--|-------------------------|-------------------------|------------------------|
| | | 0 Hari (Day 0) | 7 Hari (Day 7) | 14 Hari (Day 14) | 28 Hari (Day 28) |
| Kontrol (Control) | 0 | 9.21±0.35 ^d | 6.65±0.78 ^c | 6.38±0.24 ^d | 5.53±0.45 ^c |
| NCC | 0.125 | 5.12±0.25 ^{ab} | 4.55±0.49 ^b | 3.87±0.15 ^c | 3.27±0.33 ^b |
| NCC | 0.250 | 5.95±1.42 ^{abc} | 6.80±0.30 ^c | 6.92±0.21 ^e | 5.98±0.35 ^c |
| NFC | 0.125 | 7.22±0.82 ^c | 3.70±0.14 ^{ab} | 3.44±0.22 ^{bc} | 2.82±0.14 ^b |
| NFC | 0.25 | 4.44±0.70 ^a | 3.36±0.42 ^a | 2.47±0.06 ^a | 1.78±0.08 ^a |
| Kombinasi (Combination) | 0.125 | 5.80±0.13 ^{abc} | 4.55±0.38 ^b | 3.88±0.10 ^c | 2.83±.13 ^b |
| Kombinasi (Combination) | 0.25 | 6.36±1.53 ^{bc} | 3.54±0.58 ^a | 3.18±0.48 ^b | 2.02±0.15 ^a |

Keterangan: Pengujian dilakukan sebanyak tiga kali ulangan. Nilai mean ± standar deviasi (a-e) menunjukkan perbedaan yang signifikan ($p < 0,05$)

Note: Influence of nanocellulose on curcumin stability of *oil-in-water* emulsions containing curcumin. Samples designated with different letters (a-f) were significantly different (Duncan, $p < 0.05$)

Hal ini didukung oleh hasil dari pengamatan efisiensi enkapsulasi (Tabel 2) yang menunjukkan bahwa dengan dimensi nano pada nanoselulosa mampu meningkatkan efisiensi enkapsulasi dibandingkan kontrol emulsi karena stabilitas emulsi yang terbentuk lebih tinggi dibandingkan kontrol emulsi. Chen *et al.* (2020) menjelaskan bahwa semakin stabil emulsi maka semakin tinggi efisiensi enkapsulasinya serta semakin rendah jumlah bahan non-enkapsulasi yang ada pada permukaan partikel.

KESIMPULAN

Penelitian ini memberikan informasi terkait aplikasi emulsi santan sebagai enkapsulan kurkumin dengan penambahan NCC dan NFC sebagai stabiliser. Hasil analisis menunjukkan bahwa NFC dan kombinasi nanoselulosa sebanyak 0,25% mampu meningkatkan stabilitas emulsi santan dan menghambat jumlah kurkumin yang hilang selama penyimpanan 28 hari.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggoro D, Rezki RS, Siswarni MS. 2015. Ekstraksi multi tahap kurkumin dari temulawak (*Curcuma xanthorrhiza* Roxb.) menggunakan pelarut etanol. *J Teknik Kimia USU* 4: 39-45. <https://doi.org/10.32734/jtk.v4i2.1469>
- Anisuzzaman SM, Bono A, Krishnaiah D, Hussin NA. 2014. Decolorization of low molecular compounds of seaweed by using activated carbon. *Int J Chem Eng Appl* 5: 100–103. <https://doi.org/10.7763/IJCEA.2014.V5.359>
- Bhat AH, Dasan YK, Khan I, Soleimani H, Usmani A. 2017. Application of nanocrystalline cellulose: Processing and biomedical applications. *Cellulose-Reinforced Nanofibre Composites: Production, Properties and Applications* 5: 215–240. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100957-4.0009-7>
- Capitani MI, Nolasco SM, Tomás MC. 2016. Stability of *oil-in-water* (O/W) emulsions with chia (*Salvia hispanica* L.) mucilage. *Food Hydrocolloids* 61: 537-546. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.06.008>
- Carrillo CA, Nypelö TE, Rojas OJ. 2015. Cellulose nanofibrils for one-step stabilization of multiple emulsions (W/O/W) based on soybean oil. *J Colloid Interface Sci* 445: 166–173. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2014.12.028>
- Cookson MD, Stirk PMR. 2015. *Food Emulsions. Principles, Practices and Techniques*. 211-212. CRC Press, Boca Raton.
- Degner BM, Chung C, Schlegel V, Hutkins R, McClements DJ. 2014. Factors influencing the freeze-thaw stability of emulsion-based foods. *Compr Rev Food Sci Food Saf* 13: 98–113. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12050>
- Fan X, Zhang C, LiU D, Yan J, Liang H. 2013. The Clinical applications of curcumin: Current state and the future. *Curr Pharm Design* 19: 2011–2031. <https://doi.org/10.2174/1381612811319110005>
- Fitri IA, Winuprasith T. 2022. Stability β -carotene encapsulated in plant-based emulsions: Impact of nanocrystalline cellulose concentration. *Biosci* 6: 1–11. <https://doi.org/10.24036/0202261116540-0-00>

- Hayati HR, Dewi AK, Nugrahani RA, Satibi L. 2015. Pengaruh konsentrasi maltodekstrin terhadap kadar air dan waktu melarutnya santan kelapa bubuk (coconut milk powder) dalam air. *J Teknol* 7: 55–60.
- Isogai A. 2013. Wood nanocelluloses: Fundamentals and applications as new bio-based nanomaterials. *J Wood Sci* 59: 449–459. <https://doi.org/10.1007/s10086-013-1365-z>
- Jiang F, Hsieh Y-L. 2013. Chemically and mechanically isolated nanocellulose and their self-assembled structures. *Carbohydr Polym* 95: 32–40. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.02.022>
- Keowmaneechai E, McClements DJ. 2002. Influence of EDTA and citrate on physicochemical properties of whey protein-stabilized oil-in-water emulsions containing CaCl₂. *J Agric Food Chem* 50: 7145–7153. <https://doi.org/10.1021/jf020489a>
- Lawrence M, Jayne, Rees G D. 2000. Microemulsions-based media as novel drug delivery systems. *Adv Drug Deliv Rev* 45: 89-121. [https://doi.org/10.1016/S0169-409X\(00\)00103-4](https://doi.org/10.1016/S0169-409X(00)00103-4)
- Li J, Xu X, Chen Z, Wang T, Lu Z, Hu W, Wang L. 2018. Zein/gum Arabic nanoparticle-stabilized Pickering emulsion with thymol as an antibacterial delivery system. *Carbohydr Polym* 200: 416–426. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.08.025>
- Liu W, Wang J, McClements DJ, Zou L. 2018 Encapsulation of β -carotene-loaded oil droplets in caseinate/alginate microparticles: Enhancement of carotenoid stability and bioaccessibility. *J Funct Foods* 40: 527–535. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2017.11.046>
- Lu P, Hsieh Y-L. 2012. Preparation and characterization of cellulose nanocrystals from rice straw. *Carbohydr Polym* 87: 564–573. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.08.022>
- McClements DJ. 2015. Enhancing nutraceutical bioavailability through food matrix design. *Curr Opin Food Sci* 4: 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2014.12.008>
- Mitbumrung W, Jain S, Winuprasith T. 2020. Properties and stability of pickering emulsions stabilized by nanofibrillated mangosteen cellulose: Impact of oil type and emulsifier concentration. *Songklanakarin J Sci Technol* 42: 468–476.
- Mitbumrung W, Rungraung N, Muangpracha, N, Akanitkul P, Winuprasith T. 2022. Approaches for extracting nanofibrillated cellulose from oat bran and its emulsion capacity and stability. *Polymers* 14: 1-7. <https://doi.org/10.3390/polym14020327>
- Ni X, Chen W, Xiao M, Wu K, Kuang Y, Corke H, Jiang F. 2016. Physical stability and rheological properties of konjac glucomannan-ethyl cellulose mixed emulsions. *Int J Biological Macromol* 92: 423–430. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.07.018>
- Norizan MN, Shazleen SS, Alias AH, Sabaruddin FA, Asyraf MRM, Zainudin ES, Abdullah N, Samsudin MS, Kamarudin SH, Norrahim MNF. 2022. Nanocellulose- based nanocomposite for sustainable application: review. *Nanomaterials* 12: 3483. <https://doi.org/10.3390/nano12193483>
- Ostbring K, Matos M, Marefati A, Ahlstrom C, Gutierrez G. 2015. The effect of pH and storage temperature on the stability of emulsions stabilized by rapeseed protein. *Foods* 10: 1657. <https://doi.org/10.3390/foods10071657>
- Parthasarathy VA, Chempakam B. Zachariah TJ. 2008. *Chemistry of Spices*. 1-20. CABI Publishing, New York. <https://doi.org/10.1079/9781845934057.0000>
- Rayner M, Sjöo M, Timgren A, Dejmek P. 2012. Quinoa starch granules as stabilizing particles for production of Pickering emulsions. *Faraday Discuss* 158: 139–155. <https://doi.org/10.1039/c2fd20038d>
- Suseno SH, Jacob AM, Nuryanti M, Ernawati. 2017. Sardine (*Sardinella* sp.) oil emulsion and its stability during storage. *World J Fish Marine Sci* 9: 31-38.
- Tangsuphoom N, Coupland J. 2009. Effect of thermal treatments on the properties of coconut milk emulsions prepared with surface-active stabilizers. *Food Hydrocolloids* 23: 1792-1800. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2008.12.001>
- Varanasi S, He R, Batchelor W. 2013. Estimation of cellulose nanofibre aspect ratio from measurement of fiber suspension gel point. *Cellulose* 20: 1885–1896. <https://doi.org/10.1007/s10570-013-9972-9>
- Wahyuningtyas E, Permana M, Wiadnyani S. 2017. Pengaruh jenis pelarut terhadap kandungan senyawa kurkumin dan aktivitas antioksidan ekstrak kunyit (*Curcuma domestica* Val). *J Itepa* 6: 61-70.

- Wang C, Gao L, Liu M, Xia S, Han Y. 2022. Viscosity reduction mechanism of functionalized silica nanoparticles in heavy oil-water system. *Fuel Proc Technol* 237: 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2022.107454>
- Winuprasith T, Suphantharika M. 2015. Properties and stability of oil-in-water emulsions stabilized by microfibrillated cellulose from mangosteen rind. *Food Hydrocolloids* 43: 690–699. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.07.027>
- Zhang J, Jinnai S, Ikeda R, Wada M, Hayashida S, Nakashima K. 2009. Simple HPLC- fluorescence method for quantitation of curcuminoids and its application to turmeric products. *Anal Sci* 25: 385-388. <https://doi.org/10.2116/analsci.25.385>