

Optimization of Tween 80 and PEG 400 in Argan Oil (*Argania Spinosa* (L.) Skeels) Nanoemulgel Preparations and Antioxidant Testing Using the DPPH Method.

Optimasi Tween 80 dan PEG 400 dalam Sediaan Nanoemulgel Minyak Argan (*Argania Spinosa* (L.) Skeels) dan Uji Antioksidan Menggunakan Metode DPPH

Jingga Prasasti Sanglyazzahra ^a, Erindyah R. Wikantyasning ^{a*}

^a Program Studi Farmasi, Fakultas Farmasi, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Sukoharjo, Jawa Tengah, Indonesia.

*Corresponding Authors: erindyah.ru@ums.ac.id

Abstract

This study aims to optimize the concentrations of Tween 80 and PEG 400 in the formulation of argan oil nanoemulgel and to evaluate its antioxidant activity using the DPPH method. The nanoemulsion optimization process was carried out using the Simplex Lattice Design (SLD) approach, employing percent transmittance, pH, and emulsification time as response parameters. The optimal results were obtained at a concentration of 60% Tween 80 and 30% PEG 400, with a desirability value of 0.886. The optimized nanoemulsion exhibited a particle size of 31.3 ± 0.21 nm and a polydispersity index of 0.364, meeting the standard criteria for nanoemulsion systems. The resulting nanoemulgel demonstrated favorable physical characteristics, including homogeneous consistency, a spreadability value of 5.03 ± 0.21 cm, an adhesion time of 2.9 ± 0.41 seconds, a viscosity of 29,780 cPs, and a pH of 6.1 ± 0.07 . Antioxidant evaluation showed that the argan oil nanoemulgel exhibited strong activity with an IC_{50} value of 100.33 μ g/mL. These results indicate that the optimized nanoemulgel formulation is capable of maintaining the antioxidant activity of argan oil and has strong potential for development as an effective and stable anti-aging cosmetic product.

Keywords: Nanoemulgel, Tween 80, PEG 400, Argan oil, Antioxidant activity

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan konsentrasi tween 80 dan PEG 400 dalam pembuatan nanoemulgel minyak argan serta menguji kemampuan antioksidannya dengan metode DPPH. Proses optimasi nanoemulsi dilakukan dengan metode Simplex Lattice Design (SLD), menggunakan beberapa parameter seperti persentase transmitan, pH, dan waktu emulsifikasi. Hasil optimal diperoleh ketika konsentrasi tween 80 sebesar 60% dan PEG 400 sebesar 30%, dengan nilai desirability sebesar 0,886. Nanoemulsi terbaik memiliki ukuran partikel $31,3 \pm 0,21$ nm serta indeks polidispersitas 0,364, yang memenuhi standar nanoemulsi. Nanoemulgel yang dihasilkan dari formula terbaik memiliki sifat fisik yang baik, yaitu kondisi merata, daya sebar $5,03 \pm 0,21$ cm, daya lekat $2,9 \pm 0,41$ detik, viskositas 29.780 cPs, serta pH $6,1 \pm 0,07$. Pengujian antioksidan nanoemulgel minyak argan memiliki aktivitas kuat dengan IC_{50} sebesar 100,33 μ g/mL. Hasil menunjukkan formula nanoemulgel yang sudah dioptimalkan dapat menjaga aktivitas antioksidan minyak argan dan berpotensi dikembangkan menjadi produk kosmetik *anti-aging* yang efektif dan stabil.

Kata Kunci: Nanoemulgel, Tween 80, PEG 400, Minyak Argan, Aktivitas Antioksidan



Copyright © 2020 The author(s). You are free to : **Share** (copy and redistribute the material in any medium or format) and **Adapt** (remix, transform, and build upon the material) under the following terms: **Attribution** — You must give appropriate credit, provide a link to the license, and indicate if changes were made. You may do so in any reasonable manner, but not in any way that suggests the licensor endorses you or your use; **NonCommercial** — You may not use the material for commercial purposes; **ShareAlike** — If you remix, transform, or build upon the material, you must distribute your contributions under the same license as the original. Content from this work may be used under the terms of the [Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International \(CC BY-NC-SA 4.0\) License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Article History:

Received: 23/10/2025,
Revised: 08/01/2026
Accepted: 08/01/2026,
Available Online : 12/01/2026.

QR access this Article



<https://doi.org/10.36490/journal-jps.com.v9i1.1284>

Pendahuluan

Kulit sebagai organ terluar tubuh sering mengalami paparan radikal bebas dari polusi, sinar UV, dan proses oksidasi alami yang mempercepat penuaan dini, hiperpigmentasi, serta kerusakan kolagen. Nanoemulgel muncul sebagai inovasi pengiriman topikal yang menggabungkan nanoemulsi dengan matriks gel, menghasilkan sediaan dengan ukuran partikel nano (<200 nm), viskositas optimal, dan penetrasi kulit superior untuk zat aktif hidrofobik [1]. Minyak Argan merupakan minyak nabati yang dihasilkan dari biji pohon argan [*Argania spinosa* (L.) Skeels] dikenal kaya akan asam lemak esensial, antioksidan, dan vitamin E, yang memiliki manfaat signifikan untuk kesehatan kulit. Senyawa-senyawa ini berfungsi sebagai agen antioksidan yang dapat melindungi kulit dari kerusakan akibat radikal bebas dan penuaan dini. Penggunaan minyak argan dalam formulasi kosmetik dapat membantu menjaga kelembaban kulit, meningkatkan elastisitas, dan memberikan efek anti-kerut [2]. Meskipun demikian, minyak argan memiliki keterbatasan dalam formulasi topikal karena sifat fisikokimianya yang hidrofobik, viskositas relatif tinggi, serta rentan terhadap proses oksidasi, sehingga sulit untuk tercampur merata dalam sistem yang berbasis air.

Nanoemulgel merupakan sistem pengantaran obat topikal inovatif yang menggabungkan keunggulan nanoemulsi dengan matriks gel, memungkinkan penetrasi zat aktif yang lebih baik melalui kulit berkat ukuran partikel nano yang optimal. Penggunaan Tween 80 digunakan sebagai surfaktan karena memiliki potensi rendah untuk menyebabkan iritasi dan tidak bersifat karsinogenik. Tween 80 tidak hanya digunakan sebagai surfaktan namun dapat memperkecil ukuran globul zat lipofilik dalam sistem mikroemulsi dan nanoemulsi. Namun penggunaan surfaktan saja tidak cukup untuk mengurangi tegangan permukaan maka perlu ditambahkan kosurfaktan yang sesuai agar dapat menghasilkan nanoemulsi yang baik. Penggunaan PEG 400 dipilih karena mampu membentuk nanoemulsi yang baik. Nanoemulsi dengan kombinasi tween 80 dan PEG 400 dapat menghasilkan nilai persen transmittan yang mendekati 100, dengan kata lain nanoemulsi yang dihasilkan memiliki karakteristik jernih dan transparan [3]. Pada penelitian lain juga disebutkan bahwa kombinasi tween 80 dan PEG 400 dapat memperoleh ukuran partikel yang lebih kecil dan tingkat kejernihan yang lebih baik [4]. Dalam formulasi nanoemulgel, kombinasi Tween 80 sebagai surfaktan dan PEG 400 sebagai kosurfaktan memainkan peran krusial dalam menurunkan tegangan antarmuka, membentuk droplet berukuran nano (<200 nm). Minyak argan yang tidak dapat langsung tercampur didalam air, maka diperlukan perantara kombinasi tween 80 dan PEG 400 sebagai surfaktan dan ko-surfaktan agar minyak argan dapat bercampur dengan air dan dapat menghasilkan nanoemulsi yang stabil.

Meskipun nanoemulgel telah banyak diteliti, studi spesifik mengenai optimasi rasio Tween 80-PEG 400 pada nanoemulgel minyak argan untuk aplikasi antioksidan kulit masih terbatas, padahal kombinasi ini terbukti sinergis dalam mengecilkan droplet (<100 nm) dan meningkatkan % transmittan (>90%) yang esensial untuk estetika dan efikasi produk kosmetik. Minyak argan juga tercatat adanya keberadaan polifenol yang memberikan aktivitas antioksidan yang kuat, maka uji antioksidan DPPH diperlukan untuk mengonfirmasi bahwa proses formulasi tidak merusak potensi IC₅₀, sehingga sediaan tetap efektif melawan radikal bebas penyebab penuaan dini dan kerusakan UV [4].

Penelitian kali ini bertujuan mengoptimalkan rasio Tween 80 sebagai surfaktan dan PEG 400 sebagai ko-surfaktan dan mengevaluasi respon persen transmittan, pH, waktu emulsifikasi menggunakan pendekatan *Simplex Lattice Design* untuk mencapai nanoemulgel dengan karakteristik fisik optimal dan mempertahankan aktivitas antioksidan minyak argan guna pengembangan sediaan kosmetik anti-aging yang efektif dan stabil.

Metode Penelitian

Alat dan Bahan

Pada penelitian ini diperlukan alat-alat yang digunakan yaitu neraca analitik (Ohaus), *Particle Size Analyzer* (PSA) (HORIBA SZ-100), alat uji daya lekat, alat uji daya sebar, Viskosimeter Brookfield (Brookfield DVIIRE), Spektrofotometer UV-Vis (Shimadzu UV-1280), kuvet (QS Hellma Analytics), pH meter (Ohaus), sonikator (Brandsonic), *micropipet* (socorex), *hot plate stirrer* (Thermo), Bahan-bahan yang digunakan yang digunakan pada penelitian kali ini adalah minyak argan (PT. Tamba Sanjiwani), tween 80 (CV. Citra Buana), PEG 400 (PT. Griya Mandiri Ertya Medika), Carbopol 940 (CV. Mitra Medika), metil paraben, triethanolamin (CV. Shinta), DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhidrazil), dan vitamin E (CV. Argamas).

Optimasi Formula Nanoemulsi Minyak Argan

Pembuatan nanoemulgel akan dimulai dengan pembuatan nanoemulsi terlebih dahulu yang formulanya akan dioptimalkan menggunakan *software Design Expert* versi 13 menggunakan metode *Simplex Lattice Design*. Uji pendahuluan dilakukan untuk menetapkan batas bawah dan atas menggunakan metode perbandingan antara tween 80 dan PEG 400. Metode perbandingan konsentrasi tween 80 (50% - 80%) sedangkan PEG 400 dengan konsentrasi 10% - 40%). Setelah dilakukan uji pendahuluan didapatkan hasil bahwa yang memasuki range % transmittansi hanya tween 80 dengan konsentrasi (60% - 80%) dan PEG 400 dengan konsentrasi 10% - 30%). Setelah ditentukan batas atas dan batas bawahnya sebagaimana yang tercantum dalam tabel 1. Optimasi dilakukan pada jumlah tween 80 dan PEG 400. Analisis ini menghasilkan perolehan 8 desain formulasi nanoemulsi (tabel komposisi run 1-8 dicantumkan dalam tabel 2).

Tabel 1. Batas Bawah dan Atas Tween 80 dan PEG 400

Komponen/Bahan	Batas	
	Bawah (%)	Atas (%)
Tween 80	60	80
PEG 400	10	30

Pembuatan Nanoemulsi Minyak Argan

Minyak argan disiapkan di dalam beaker glass, kemudian diaduk menggunakan *hot plate stirrer* dengan kecepatan 500 rpm dan suhu 50°C. Setelah itu, Tween 80 dimasukkan dan diaduk hingga homogen. Selanjutnya, PEG 400 ditambahkan secara perlahan dan diaduk hingga tercapai homogenitas. Pada tahap berikutnya, akuades diteteskan sedikit demi sedikit dan diaduk selama 30 menit hingga campuran menjadi homogen dan jernih. Hasil nanoemulsi yang terbentuk kemudian dimasukkan ke dalam sonikator dan disonikasikan selama 60 menit.

Tabel 2. Formula Nanoemulsi Minyak Argan

Bahan	Run								Satuan	Kegunaan
	1	2	3	4	5	6	7	8		
Minyak Argan	2	2	2	2	2	2	2	2	mL	Zat aktif
Tween 80	13	14	14	15	12	16	16	12	mL	Surfaktan
PEG 400	5	4	4	3	6	2	2	6	mL	Ko-surfaktan
Akuades ad	50	50	50	50	50	50	50	50	mL	Pelarut

Uji Karakter Fisik Nanoemulsi Minyak Argan

Uji Persen Transmittansi

Uji transmittansi digunakan sebagai respon untuk formula nanoemulsi. Sampel sebanyak 1 mL dilarutkan dalam labu takar 100 mL dengan menggunakan akuades. Larutan diukur persen transmittansi pada panjang gelombang 650 nm menggunakan Spektrofotometer UV-Vis (Shimadzu UV-1280). Akuades digunakan sebagai blanko saat pengujian [5].

Uji Waktu Emulsifikasi

Waktu emulsifikasi ditentukan dengan menggunakan alat *magnetic stirrer*. Dilakukan dengan cara menggunakan *magnetic stirrer* yang diatur pada kecepatan 150 rpm, sebanyak 20 µL nanoemulsi diencerkan dalam 12,5 mL akuades.

Uji pH Nanoemulsi

Pengujian pH dilakukan menggunakan alat pH meter (Ohaus). Pengukuran dilakukan dengan replikasi 3 kali. Disiapkan nanoemulsi didalam *beaker glass* kemudian elektroda pH meter dimasukkan kedalam *beaker glass* tunggu beberapa saat hingga nilai pH terbaca pada alat.

Penentuan Persamaan Model Respon dan Target Respon Formula Optimal

Penentuan persamaan model respon pada metode *Simplex Lattice Design* (SLD) dilakukan untuk menggambarkan hubungan antara berbagai kombinasi komponen formulasi dengan respon yang dihasilkan. Melalui analisis ini, pengaruh masing-masing komponen terhadap respon dapat diketahui, sekaligus memprediksi nilai respon pada komposisi tertentu. Hasil persamaan model respon *Simplex Lattice Design* selanjutnya digunakan untuk mengidentifikasi formulasi yang optimal berdasarkan kriteria respon yang ditetapkan.

Optimasi dapat dilakukan dengan cara memasukkan kriteria tertentu sesuai dengan respon yang telah ditentukan. Kriteria yang ditentukan adalah yang bersifat subyektif dan memiliki batas bawah dan batas atas agar mendapatkan hasil yang baik. Kriteria respon tercantum dalam tabel 3.

Tabel 3. Kriteria respon nanoemulsi Minyak Argan

Respon	Kriteria	Batas bawah	Batas atas
Persen transmittan (%)	<i>Maximize</i>	90,0	99,9
pH	<i>In range</i>	4,5	7,0
Waktu emulsifikasi (detik)	<i>Minimize</i>	0	59

Penentuan Formula Optimum, Respon Prediksi dan Verifikasi Formula Optimum

Hasil evaluasi fisik nanoemulsi dimasukkan kedalam *Design Expert* versi 13 menggunakan metode *Simple Lattice Design* (SLD). Data yang telah dimasukkan kemudian diolah sesuai dengan *range* yang telah ditentukan. Data yang digunakan adalah hasil uji persen transmittan, uji waktu emulsifikasi, dan uji pH.

Data yang telah diolah kemudian diverifikasi dengan cara mengevaluasi hasil respon yang berada pada rentang prediksi dan telah menunjukkan hasil yang konsisten (replikasi 3 kali). Metode optimasi dapat dinyatakan berhasil jika hasil respon sesuai dan akurat sesuai pada rentang interval prediksi. Kemudian dilakukan verifikasi yang bertujuan untuk membandingkan hasil prediksi respon dari *Design-Expert* versi 13 dengan rata-rata hasil uji yang telah dilakukan.

Uji Ukuran Partikel dan Indeks Polidispersitas Nanoemulsi pada Formula Optimal

Analisis ukuran partikel pada nanoemulsi minyak argan dilakukan dengan menggunakan *Particle Size Analyzer* (PSA) (HORIBA SZ-100). Ukuran partikel bertujuan untuk mengetahui apakah nanoemulsi tersebut memenuhi persyaratan ukuran partikel yaitu 5 nm – 100 nm [6].

Nilai indeks polidispersitas (PI) sampel nanoemulsi menunjukkan struktur yang homogen atau ukuran partikel yang lebih stabil. Nilai indeks polidispersitas yang baik yaitu < 0,5, sedangkan nilai > 0,5 menunjukkan bahwa distribusi globul tidak seragam [7]. Semakin rendah nilai PI atau semakin mendekati 0 maka ukuran droplet akan semakin seragam dan homogen [8].

Pembuatan Nanoemulgel Minyak Argan pada Formula Optimal

Nanoemulsi optimal kemudian dijadikan nanoemulgel dengan komposisi seperti yang tertera pada tabel 4. Pembuatan nanoemulgel diawali dengan perendaman mortir menggunakan air panas. Setelah mortir dianggap cukup panas, Carbopol 940 dimasukkan dan digerus hingga homogen. Setelah Carbopol 940 mencapai homogenitas, aquadest ditambahkan sedikit demi sedikit dan penggerusan diteruskan hingga campuran homogen. Selanjutnya, nanoemulsi dimasukkan dan proses penggerusan dilanjutkan hingga homogen. Tahap berikutnya, TEA dan nipagin yang telah dilarutkan dalam alkohol ditambahkan, kemudian

digerus hingga tercampur secara homogen. Setelah itu, akuades ditambahkan hingga volume mencapai 100 mL, dan penggerusan diteruskan sampai diperoleh nanoemulgel yang homogen.

Tabel 4. Formulasi Nanoemulgel Minyak Argan

Bahan	Komposisi (%b/b)	Kegunaan
Nanoemulsi Minyak Argan	20	Zat Aktif
Carbopol 940	1	Agen Pembentuk Gel
Trietanolamin	1	Agen Pengalkali
Metil paraben	0,2	Pengawet
Akuades ad	100	Pelarut

Evaluasi Fisik Nanoemulgel Minyak Argan

Uji Homogenitas

Uji homogenitas di ambil secukupnya dioleskan pada kaca objek. Dilihat sediaan ada butiran kasar atau tidak [9].

Uji Daya Sebar

Uji daya sebar sediaan ditimbang 500 mg, diletakkan di alat ekstensometer dan ditutup, dibiarkan selama 1 menit. Diukur diameter yang menyebar dengan mengamati rata-rata diameter dari beberapa sisi. Ditambahkan beban 50 gram, diamkan selama 1 menit dan catat diameter seperti sebelumnya. Diteruskan dengan menambahkan beban lagi seberat 50 gram dan cacat diameter sediaan setelah 1 menit dan catat diameter sediaan seperti sebelumnya [9].

Uji Daya Lekat

Tujuan pengujian daya lekat adalah untuk mengetahui kemampuan formulasi semisolid dalam melekat pada kulit dalam waktu tertentu untuk mencapai pelepasan zat aktif yang maksimal. Nanoemulgel minyak argan 0,2 gram diletakkan diantara 2 *object glass* diletakkan pada alat dan dilepas beban seberat 80 gram, waktu sampai kedua *object glass* terlepas dicatat. Tidak ada persyaratan khusus mengenai daya lekat sediaan semi solid, namun sebaiknya daya lekat sediaan semi solid yaitu lebih dari 1 detik [10].

Uji Viskositas

Pengukuran viskositas nanoemulgel dilakukan menggunakan Viscometer Brookfield (Brookfield DVIIRE) dengan spindel nomor 7. Sampel yang akan diuji dimasukkan ke dalam wadah. Spindel diletakkan di tengah-tengah wadah yang berisi sampel nanoemulgel, lalu alat dinyalakan. Angka yang muncul di layar akan ditunggu hingga stabil, kemudian dibaca skala yang terdapat pada viskosimeter tersebut nanoemulgel yang baik memiliki viskositas pada rentang 4000 – 40.000 [11].

Uji pH

Pengujian pH dilakukan menggunakan alat pH meter (Ohaus). Pengukuran dilakukan dengan replikasi 3 kali. Disiapkan nanoemulgel didalam *beaker glass* kemudian elektroda pH meter dimasukkan kedalam *beaker glass* tunggu beberapa saat hingga nilai pH terbaca pada alat. Nilai pH sediaan topikal sebaiknya disesuaikan dengan nilai pH kulit, yaitu 4,5 hingga 7 [12].

Pengukuran Aktivitas Antioksidan Nanoemulgel Minyak Argan

Larutan DPPH 0,5 mM dibuat sebagai larutan pereaksi dengan cara menimbang 0,018 g serbuk DPPH, kemudian serbuk tersebut dimasukkan ke dalam labu ukur 100 mL dan ditambahkan metanol hingga mencapai tanda batas. Pengujian aktivitas antioksidan minyak argan dan sediaan nanoemulgel minyak argan dilakukan dengan terlebih dahulu membuat larutan stok 1000 ppm, yaitu dengan melarutkan 0,1 g minyak argan ke dalam 100 mL metanol. Selanjutnya, larutan standar dengan konsentrasi 25 ppm, 50 ppm, 75 ppm, 100 ppm, dan 125 ppm disiapkan dari larutan stok tersebut. Kontrol pembanding vitamin E, larutan standar dengan konsentrasi 5 ppm, 10 ppm, 15 ppm, 20 ppm, dan 25 ppm disiapkan.

Pengujian aktivitas antioksidan pada sampel basis gel dilakukan menggunakan larutan standar dengan konsentrasi 50 ppm, 100 ppm, 150 ppm, 200 ppm, dan 250 ppm. Seluruh larutan standar tersebut ditambahkan 1 mL larutan DPPH, kemudian metanol ditambahkan hingga mencapai volume 5 mL. Setelah itu, absorbansi

diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 517 nm [13]. Hasil yang didapatkan di replikasi sebanyak 3 kali.

Analisis Data

Analisis data dari hasil penelitian sediaan nanoemulsi meliputi analisis deskriptif seperti uji persen transmittan, uji pH, dan uji waktu emulsifikasi menggunakan analisis statistik. Data tersebut dianalisis dengan menggunakan *software Design Expert* dengan metode *Simplex Lattice Design*.

Hasil dan Pembahasan

Optimasi Formula Nanoemulsi Minyak Argan

Penentuan formula optimum ditentukan dengan beberapa pengujian yaitu, uji persen transmittan, uji pH dan uji waktu emulsifikasi. Berdasarkan ketiga uji yang telah dilakukan didapatkan hasil yang sudah dicantumkan pada tabel 5.

Tabel 5. Optimasi Nanoemulsi Minyak Argan

Run	Uji % Transmittan (%) (n=4)	Uji pH (n=4)	Uji Waktu Emulsifikasi (detik) (n=4)
1	97,9±0,17	5,72±0,00	10,3±0,5
2	98,9±0,10	5,77±0,02	11,3±0,5
3	99,0±0,46	5,78±0,01	11±0,00
4	99,1±0,17	5,90±0,00	14,5±1,29
5	98,8±0,26	6,61±0,03	7,5±0,58
6	99,9±0,22	6,70±0,00	23±1,41
7	99,6±0,22	6,90±0,04	23,5±1,73
8	97,1±0,24	5,67±0,01	7,5±0,58

Berdasarkan data diatas menunjukkan bahwa sediaan nanoemulsi memiliki penampilan fisik yang jernih dan transparan dengan rentang nilai persen transmittan 97,1±0,24 – 99,9±0,22. Hasil tersebut sudah sesuai karena formula dengan hasil rentang 90 – 100% menunjukkan nanoemulsi dengan penampilan fisik yang jernih dan transparan [14]. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi Tween 80, semakin meningkat nilai transmittan dari nanoemulsi tersebut. Tween 80 adalah jenis surfaktan non-ionik dengan nilai HLB yang tinggi. Surfaktan ini cukup efektif dalam mengurangi tegangan antarmuka antara fase minyak argan dan fase air, sehingga membantu proses pembentukan droplet berukuran nano. Selanjutnya uji pH, pH untuk sediaan topikal sebaiknya disesuaikan dengan pH kulit 4,5 – 7 karena sediaan dengan pH yang terlalu asam atau basa dapat menyebabkan iritasi [12].

Data yang didapatkan menghasilkan pH dengan rentang 5,67±0,01 – 6,90±0,04 sudah sesuai dengan pH kulit. Pengujian terakhir untuk menentukan formula optimum adalah uji waktu emulsifikasi. Waktu emulsifikasi yang baik adalah < 60 detik [15]. Menurut syarat tersebut maka hasil sudah sesuai karena memiliki rentang 7,5±0,58 – 23,5±1,73. Berdasarkan hasil data diatas, meskipun surfaktan membantu menurunkan tegangan antarmuka, jika digunakan dalam jumlah terlalu banyak, bisa membuat sistem jadi lebih kental. Akibatnya, diperlukan lebih banyak energi dan waktu untuk mencapai kondisi emulsi yang stabil. Selain itu, ko-surfaktan juga memengaruhi waktu emulsifikasi karena berperan dalam mengubah struktur antarmuka serta viskositas sistem secara keseluruhan. Hasil dari ketiga pengujian sudah memenuhi semua syarat yang ditentukan.

Penggunaan tween 80 dan PEG 400 mempengaruhi kejernihan nanoemulsi, jika konsentrasi tween 80 dapat meningkatkan kejernihan sediaan, semakin banyak maka sediaan akan semakin jernih begitupun sebaliknya semakin sedikit konsentrasi tween 80 maka sediaan akan semakin keruh [16]. Selain mempengaruhi persen transmittan tween 80 juga mempengaruhi pH dan waktu emulsifikasi. Semakin tinggi konsentrasi tween 80 dapat meningkatkan pH dan waktu emulsifikasi.

Penentuan Persamaan Model Respon dan Target Respon Formula Optimal

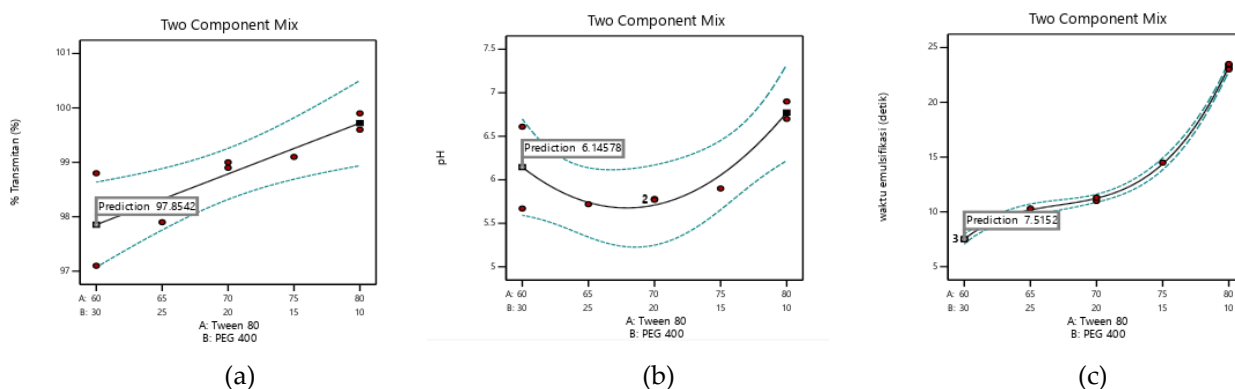
Berdasarkan hasil analisis menggunakan *Design Expert* didapatkan hasil untuk persen transmittan adalah termasuk dalam model *Linear* dengan nilai menunjukkan bahwa model signifikan ($p\text{-value } 0,0108 < 0,05$), sedangkan untuk nilai *Lack of Fit* sebesar 0,9016 yang menunjukkan bahwa hasil tidak signifikan. Untuk

respon pH hasil termasuk dalam model *Quadratic* menunjukkan bahwa model signifikan (p -value $0,0381 < 0,05$), sedangkan untuk nilai *Lack of Fit* sebesar 0,8985 yang menunjukkan bahwa hasil tidak signifikan. Sedangkan untuk respon pH didapatkan hasil termasuk dalam model *Qubic* menunjukkan bahwa model signifikan (p -value $< 0,0001 < 0,05$), sedangkan untuk nilai *Lack of Fit* sebesar 0,4291 yang menunjukkan bahwa hasil tidak signifikan. Dapat disimpulkan bahwa ketiga persamaan model sudah sesuai dan mampu memprediksi respon persen transmitan, pH, dan waktu emulsifikasi.

Hasil telah dicantumkan didalam tabel 6. Grafik respon persen transmitan, pH, waktu emulsifikasi pada gambar 1 menunjukkan bahwa perbedaan konsentrasi tween 80 dan PEG 400 berpengaruh signifikan, dimana hasil yang didapatkan antara konsentrasi tween 80 dan PEG 400 dengan respon berbanding lurus, yang artinya semakin besar konsentrasi maka respon yang didapatkan akan semakin tinggi. Hasil telah dicantumkan dalam gambar 1.

Tabel 6. Persamaan model dari respon formula sediaan nanoemulsi Minyak Argan

Respon	Model	<i>p</i> -value	<i>Lack of Fit</i>	Regresi Linear
Persen transmitan	Linear	0,0108 (significant)	0,9016 (not significant)	$Y = +99,7A + 97,85B$
pH	Quadratic	0,0381 (significant)	0,8985 (not significant)	$Y = +6,77A + 6,15B - 3,00AB$
Waktu emulsifikasi	Qubic	$< 0,0001$ (significant)	0,4291 (not significant)	$Y = +23,27A + 7,52B - 16,60AB - 19,60AB (A-B)$



Gambar 1. Hasil optimasi nanoemulsi menggunakan *Design Expert* versi 13 prediksi pada konsentrasi Tween 80 (60%) dan PEG 400 (30%) (a) persen transmitan, (b) pH, (c) waktu emulsifikasi

Penentuan Formula Optimum, Respon Prediksi dan Verifikasi Formula Optimum

Berdasarkan model respon dan kriteria yang telah ditentukan sebelumnya menggunakan *software Design-Expert* versi 13. Didapatkan perbandingan konsentrasi Tween 80 dan PEG 400 sebagai surfaktan dan ko-surfaktan. Berdasarkan kriteria goal dan didapatkan 1 prediksi formula optimal yaitu Tween 80 sebanyak 60% dan PEG 400 sebanyak 30% dengan nilai desirability 0,886. Nilai desirability adalah nilai target optimasi yang dinyatakan antara 0-1, semakin mendekati 1 maka semakin mudah suatu formula dalam mencapai titik formula optimalnya berdasarkan variabel respon [17]. Berdasarkan hasil formula optimum dan prediksi nilai respon dicantumkan dalam tabel 7.

Verifikasi bertujuan membandingkan hasil prediksi respon dari *Design-Expert* versi 13 dengan rata-rata hasil uji yang telah dilakukan. Verifikasi dilakukan dengan replikasi sebanyak 3 kali menggunakan metode formulasi yang sama, kemudian hasilnya dirata-rata. Dari hasil verifikasi menunjukkan bahwa adanya kecocokan antara hasil prediksi dengan hasil aktual, karena data yang dihasilkan sudah memasuki rentang 95% PI. Pada pengukuran persen transmitan didapatkan nilai rerata sebesar $99,3 \pm 0,05$ yang dimana sudah memenuhi kriteria pengujian persen transmitan yaitu rentang 90 – 100% [14]. Pada pengukuran pH didapatkan nilai rerata sebesar $6,84 \pm 0,08$ yang dimana sudah memenuhi kriteria pengujian pH yaitu disesuaikan dengan pH kulit 4,5 – 7 [12]. Pada pengukuran waktu emulsifikasi didapatkan nilai rerata sebesar $7,75 \pm 0,96$ yang dimana sudah memenuhi kriteria pengujian waktu emulsifikasi yaitu < 60 detik [15].

Nilai persentase error yang sangat kecil ($< 5\%$) menunjukkan bahwa model prediksi memiliki akurasi yang sangat baik dalam memperkirakan nilai transmitan dan waktu emulsifikasi. Selain itu, nilai hasil uji berada dalam rentang 95% prediction interval, yang menegaskan bahwa model yang digunakan valid dan

mampu menggambarkan kejernihan dan waktu emulsifikasi nanoemulsi secara akurat. Sedangkan untuk hasil Persentase error pH lebih tinggi dibandingkan respon lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa prediksi pH oleh model kurang akurat secara relatif dibandingkan transmittan dan waktu emulsifikasi. Namun demikian, nilai pH hasil uji masih berada dalam rentang 95% prediction interval, sehingga secara statistik model masih dapat diterima. Peningkatan error pada pH dapat disebabkan oleh sensitivitas pH terhadap variasi kecil komposisi fase air dan interaksi surfaktan-ko-surfaktan yang tidak sepenuhnya tertangkap oleh model Data telah dicantumkan didalam tabel 7.

Tabel 7. Hasil prediksi nilai respon dan nilai *desirability*

Respon	Rata-rata nilai respon prediksi	Standar deviasi	95% PI low	Rata-rata nilai uji	95% PI high	Persentase Error
Persen transmittan (%)	97,8542	0,542947	96,3121	99,3±0,05	99,3962	1,43
pH	6,14578	0,314963	5,16504	6,84±0,08	7,12652	11,21
Waktu emulsifikasi (detik)	7,5152	0,232974	6,72428	7,75±0,96	8,30611	3,33

Uji Ukuran Partikel dan Indeks Polidispersitas Nanoemulsi pada Formula Optimal

Pengujian ukuran partikel diperlukan agar sediaan yang dihasilkan dapat dilihat besar kecilnya partikel serta sejauh mana partikel tersebut merata dalam sediaan. Pengujian menggunakan alat *Particle Size Analyzer* (PSA), pada tabel 8 menunjukkan hasil pengujian pengukuran partikel dan indeks polidispersitas. Hasil pengukuran partikel menunjukkan hasil sebesar 31,3 nm, dari hasil yang didapatkan sudah memenuhi persyaratan ukuran partikel yaitu 5 nm – 100 nm [6].

Pengujian indeks polidispersitas dengan syarat baik yaitu $< 0,5$ sedangkan hasil yang didapatkan adalah 0,364 yang artinya hasil yang didapatkan sudah memenuhi persyaratan [7]. Semakin rendah nilai PI atau semakin mendekati 0 maka ukuran droplet akan semakin seragam dan homogen [8]. Pada data yang didapatkan menunjukkan ukuran partikel < 100 nm dan PDI < 0.5 maka dapat dikatakan bahwa sistem nanoemulsi stabil secara kinetik dan memiliki potensi untuk meningkatkan penetrasi senyawa aktif minyak argan ke stratum korneum kulit karena ukurannya yang sangat kecil. Hasil yang didapatkan sudah sesuai dengan syarat yang ada seperti yang tercantu dalam tabel 8.

Tabel 8. Uji Ukuran Partikel dan Indeks Polidispersi Nanoemulsi

Respon	Rata-Rata Hasil Respon±SD (n=3)
Ukuran Partikel	31,3±0,21
Indeks Polidispersitas	0,364±0,01

Evaluasi Fisik Nanoemulgel Minyak Argan

Evaluasi yang dilakukan terhadap sediaan nanoemulgel uji homogenitas, uji daya sebar, uji daya lekat, uji viskositas, dan uji pH. Tujuan dilakukannya evaluasi fisik adalah untuk mengetahui kualitas, kestabilan, dan kesesuaian karakteristik sediaan selama proses formulasi. Uji homogenitas dilakukan untuk mengetahui sediaan yang merata akan menghasilkan kualitas yang baik karena menunjukkan bahan obat terdistribusi secara merata dalam bahan dasar, sehingga setiap bagian dari sediaan memiliki kandungan obat yang sama [18]. Hasil yang didapatkan sudah sesuai dengan teori. Pengujian daya sebar memiliki tujuan adalah untuk mengetahui kemampuan menyebar pada kulit, sediaan dapat dikatakan baik jika daya sebar 5-7 cm [19].

Pengujian daya sebar menunjukkan hasil 5,03 cm yang artinya hasil yang didapatkan sudah memenuhi persyaratan yang ada, pada penelitian lain didapatkan hasil 5,57 cm, hal ini menegaskan bahwa formula sediaan telah mencapai dispersi yang memuaskan [20]. Pengujian daya lekat dilakukan untuk mengetahui kemampuan sebuah sediaan melekat pada kulit, semakin lama daya lekatnya semakin baik daya lekatnya, tidak ada persyaratan khusus pada uji ini namun sebaiknya daya lekat sediaan semi solid yaitu lebih dari 1 detik [10]. Uji daya lekat yang dilakukan mendapatkan hasil 2,9 detik, sedangkan pada penelitian lain menunjukkan hasil 2,21±0,06 – 4,76±0,06 detik, hasil yang didapatkan sudah sesuai karena hasil yang didapatkan sudah > 1 detik. Pengujian selanjutnya yaitu viskositas, uji viskositas gel bertujuan untuk mengetahui tingkat kekentalan gel tersebut. Gel yang baik memiliki kekentalan yang tidak terlalu pekat dan tidak terlalu cair. Hal ini berkaitan dengan penggunaan gel tersebut pada kulit [21]. Didapatkan hasil adalah

29.780 cPs, sedangkan pada penelitian yang lain didapatkan hasil $26.400 \pm 653,197$ [11], maka hasil yang didapatkan sudah sesuai dengan teori bahwa nanoemulgel yang baik memiliki viskositas pada rentang 400-40.000 [11].

Pengujian terakhir yang dilakukan adalah uji pH, ketentuan pH untuk sediaan topikal sesuai dengan pH kulit yaitu 4,5 – 7 [12]. Sediaan nanoemulgel mendapatkan pH sebesar 6,1 yang artinya hasil yang didapatkan sudah sesuai dengan persyaratan. Data hasil uji fisik terhadap nanoemulgel dicantumkan didalam tabel 9.

Tabel 9. Evaluasi Fisik Nanoemulgel Minyak Argan

Respon	Rata-Rata Hasil Respon \pm SD (n=3)
Homogenitas	Homogen
Daya Sebar (cm)	5,03 \pm 0,21
Daya Lekat (detik)	2,9 \pm 0,41
Viskositas (cPs)	29.780 \pm 100,66
pH	6,1 \pm 0,07

Aktivitas Antioksidan Nanoemulgel Minyak Argan

Antioksidan merupakan senyawa yang berperan menghambat dan menetralkan reaksi oksidatif yang melibatkan radikal bebas. Metode DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazil) merupakan salah satu metode yang sering digunakan untuk uji antioksidan yang dapat memberikan hasil yang akurat, reliabel, praktis dan cepat, yang diobservasi menggunakan spektrofotometer UV-Vis dengan panjang gelombang yaitu 517 nm [22]. Metode ini mengukur kemampuan senyawa dalam meredam radikal bebas dengan mengamati perubahan warna dari ungu menjadi kuning. Metode ini sering digunakan karena mudah dilakukan, peka, dan cukup mewakili dalam mengevaluasi aktivitas antioksidan senyawa yang larut dalam lemak atau sediaan topikal [23].

Nilai antioksidan dapat dikategorikan berdasarkan nilai IC_{50} (μ g/mL), nilai <50 μ g/mL kategori sangat kuat, 50-100 (μ g/mL) masuk kategori kuat, 101-250 μ g/mL termasuk kategori sedang, sedangkan 251-500 μ g/mL masuk kedalam kategori lemah [24]. Hasil pengujian menunjukkan bahwa minyak argan memiliki aktivitas antioksidan yang lebih baik dibandingkan nanoemulgelnya. Penurunan aktivitas antioksidan setelah disajikan dalam bentuk nanoemulgel diduga karena konsentrasi senyawa aktif seperti tokoferol, senyawa fenolik, dan karotenoid berkurang.

Hal ini terjadi karena penambahan air, surfaktan, dan bahan dasar gel yang menyebabkan pencairan kandungan aktif. Selain pengenceran, interaksi senyawa antioksidan dengan bahan gel juga memengaruhi aktivitas yang terukur. Bahan gel bisa membatasi kemampuan senyawa aktif untuk berdifusi ke dalam medium reaksi DPPH, sehingga kemampuan untuk meredam radikal bebas menjadi lebih rendah, hal tersebut sesuai dengan hasil yang didapatkan bahwa basis gel memiliki aktivitas antioksidan yang lemah.

Hal ini sering ditemukan dalam penelitian lain mengenai nanoemulgel, di mana bentuk semi padat cenderung menunjukkan aktivitas antioksidan lebih rendah dibandingkan bahan aktif murni. hal tersebut didukung dengan penelitian lain dimana hasil dari vitamin E sebesar 17,33 μ g/mL, minyak argan sebesar 39,50 μ g/mL, sedangkan sediaan minyak argan sebesar 81,07 μ g/mL [13].

Tabel 10. Aktivitas Antioksidan Nanoemulgel Minyak Argan

Sampel	IC_{50} (μ g/mL)	Regresi Linear	Kategori
Vitamin E	12	$y = 1,8455x + 35,4$	Sangat kuat
Minyak Argan	48,83	$y = 0,4853x + 2,9765$	Sangat kuat
Sediaan Nanoemulgel Minyak Argan	100,33	$y = 0,5021x - 0,3771$	Kuat
Basis Gel	316,4	$y = 0,169x - 3,4682$	Lemah

Hasil uji t berpasangan menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan antara variabel 1 (uji antioksidan nanoemulgel) dan variabel 2 (uji antioksidan minyak argan) ($t = 5,82$; $df = 4$; $p = 0,0043 < 0,05$). Rerata variabel 1 lebih tinggi dibandingkan variabel 2, yang mengindikasikan adanya pengaruh perlakuan terhadap parameter yang diuji. Meskipun terjadi penurunan, nanoemulgel minyak argan tetap menunjukkan aktivitas antioksidan yang kuat. Hal ini menunjukkan bahwa proses pembuatan nanoemulsi dan pembentukan gel tidak sepenuhnya merusak atau mengurangi efektivitas senyawa aktif dalam minyak argan. Ukuran droplet

nano yang kecil pada sistem nanoemulsi berpotensi meningkatkan stabilitas senyawa aktif terhadap degradasi oksidatif, sehingga aktivitas antioksidan tetap terjaga.. Hasil dari pengujian antioksidan juga dicantumkan didalam tabel 10.

Kesimpulan

Formula optimal yang didapatkan menggunakan metode SLD diperoleh pada konsentrasi tween 80 sebesar 60% dan PEG 400 sebesar 30% dengan hasil *desirability* sebesar 0,886. Didapatkan hasil ukuran partikel sebesar $31,3 \pm 0,21$. Evaluasi fisik terhadap sediaan nanoemulgel menghasilkan hasil sediaan yang homogen, uji daya sebar $5,03 \pm 0,21$ cm, uji daya lekat $2,9 \pm 0,41$ detik, viskositas 29.780, dan uji pH sebesar $6,1 \pm 0,07$. Sediaan nanoemulgel memiliki aktivitas antioksidan kategori kuat dengan hasil IC_{50} sebesar $100,33 \mu\text{g/mL}$. Sediaan nanoemulgel dapat dikembangkan lebih lanjut untuk mengeksplorasi bahan pengawet atau antioksidan tambahan guna mencegah penurunan aktivitas selama penyimpanan dan dapat dilakukan pengujian lebih lanjut terhadap nanoemulgel minyak argan, seperti uji stabilitas dan uji iritasi.

Conflict of Interest

Para penulis menyatakan bahwa tidak terdapat konflik kepentingan, baik yang bersifat finansial, personal, maupun organisasi, yang dapat memengaruhi secara tidak semestinya pelaksanaan dan pelaporan penelitian dalam naskah ini. Seluruh prosedur eksperimen, analisis data, dan interpretasi hasil dilakukan secara independen tanpa adanya pengaruh atau bias dari pihak eksternal.

Referensi

- [1] L. Pratiwi, A. Fudholi, R. Martien, and S. Pramono, "Uji Stabilitas Fisik dan Kimia Sediaan SNEDDS (Self-nanoemulsifying Drug Delivery System) dan Nanoemulsi Fraksi Etil Asetat Kulit Manggis (*Garcinia mangostana* L.)," vol. 23, no. July, pp. 84–90, 2018.
- [2] R. Kamal *et al.*, "Antioxidant activities, total polyphenolic compounds and HPLC/DAD/MS phenolic profile of argan oil derived from two different methods of extractions," *J. Mater. Environ. Sci.*, vol. 8, no. 4, pp. 173–179, 2016.
- [3] A. Shabrina and I. S. M. Khansa, "Physical Stability of Sea Buckthorn Oil Nanoemulsion with Tween 80 Variations," *Indones. J. Pharm. Sci. Technol.*, vol. 1, no. 1, p. 14, 2022, doi: 10.24198/ijpst.v1i1.42809.
- [4] M. Laxmi, A. Bhardwaj, S. Mehta, and A. Mehta, "Development and characterization of nanoemulsion as carrier for the enhancement of bioavailability of artemether," *Artif. Cells, Nanomedicine Biotechnol.*, vol. 43, no. 5, pp. 334–344, 2015, doi: 10.3109/21691401.2014.887018.
- [5] Z. D. Sighny, M. N. Azkia, and B. Kunarto, "Karakteristik Nanoemulsi Ekstrak Buah Parijoto (*Medinilla speciosa* Blume)," *J. Teknol. Pangan dan Has. Pertan.*, vol. 15, no. 1, p. 1, 2020, doi: 10.26623/jtphp.v15i1.1888.
- [6] Wa Ode Sitti Zubaydah *et al.*, "Formulasi dan Karakterisasi Nanoemulsi Ekstrak Etanol Buah Wualae (*Etlingera Elatior* (Jack) R.M. Smith)," *Lansau J. Ilmu Kefarmasian*, vol. 1, no. 1, pp. 22–37, 2023, doi: 10.33772/lansau.v1i1.4.
- [7] N. M. D. Listyorini, N. L. P. D. Wijayanti, and K. W. Astuti, "Optimasi Pembuatan Nanoemulsi Virgin Coconut Oil," *J. Kim.*, no. January 2018, p. 8, 2018, doi: 10.24843/jchem.2018.v12.i01.p02.
- [8] E. Zulfa, D. Novianto, and D. Setiawan, "Formulasi Nanoemulsi Natrium Diklofenak Dengan Variasi Kombinasi Tween 80 dan Sapn 80: Kajian Fisik Sediaan," *Media Farm. Indones.*, vol. 14, no. 1, pp. 1471–1477, 2019.
- [9] M. Inda Setiawati, E. Issusilaningtyas, and L. Setiyabudi, "Optimasi Formula Nanoemulsi Gel Ekstrak Buah Bakau Hitam (*Rhizophora mucronatalamk.*) Dengan Variasi Gelling Agent HPMC, Carbopol 940 Dan Viscolam Mac 10," *J. Ilm. JOPHUS J. Pharm. UMUS*, vol. 2, no. 02, pp. 50–61, 2021, doi: 10.46772/jophus.v2i02.431.
- [10] A. S. Yasir, K. Marlina, R. Dewi, and D. Chusniasih, "3801-36260-1-Pb," vol. 3, no. 2, pp. 162–177, 2020.
- [11] E. Maryanti, M. Arifin, R. Intan, P. Sari, N. Wirahmi, and D. K. Putri, "Formulasi dan Evaluasi Sediaan

Nanoemulgel Zink Oksida dengan Variasi Konsentrasi Carbopol-940 sebagai Gelling Agent,” vol. 5, 2025.

- [12] E. Y. Sari, C. Mutia, Z. S. Fitri, and R. A. T. N. Sakhi, “Formulasi Sediaan Nanoemulgel dari Ekstrak Resin Jernang (*Daemonorops draco* (Wild .)) untuk Penyembuhan Luka Bakar pada Tikus Putih Jantan (*Rattus norvegicus*),” pp. 371–380, 2025.
- [13] N. Ain Thomas and A. Sidangoli, “Uji Aktivitas Antioksidan Minyak Argan (*Argania spinosa* L.) Dalam Bentuk Sediaan Mikroemulsi,” *Indones. J. Pharm. Educ.*, vol. 1, no. 1, pp. 30–39, 2021, doi: 10.37311/ijpe.v1i1.9951.
- [14] O. Y. Destiyana, L. Rijai, and Hajrah, “Formulasi Nanoemulsi Kombinasi Ekstrak Bunga Mawar (*Rosa Damascena* Mill.) Dan Ekstrak Umbi Bengkuang (*Pachyrhizus Erosus* L.) Menggunakan Minyak Pembawa Virgin Coconut Oil (VCO),” *Mulawarman Pharmaceytical Conf.*, no. November 2018, pp. 254–259, 2018.
- [15] S. Reddy and B. Sravanthi, “Formulation and In Vitro Characterization of Solid-self Nanoemulsifying Drug Delivery System of Atorvastatin Calcium,” vol. 2017, no. 4, pp. 991–999, 2017, doi: <https://doi.org/10.22377/ajp.v11i04.1771>.
- [16] R. Parveen, S. Baboota, J. Ali, A. Ahuja, and S. Ahmad, “Stability studies of silymarin nanoemulsion containing Tween 80 as a surfactant,” pp. 321–324, 2015, doi: 10.4103/0975-7406.168037.
- [17] T. Rahman, R. C. Erwan, A. Herminiati, and E. Turmala, “Formulasi dan Evaluasi Sensori Tepung Bumbu Ayam Goreng Berbasis Tepung Singkong Termodifikasi Formulation and Sensory Evaluation of Fried Chicken Spices Flour Based Modified Cassava Flour,” 2017.
- [18] A. Arifin and E. Pakki, “Formulasi Dan Uji Stabilitas Fisik Sediaan Losio Bubur Rumput Laut (*Eucheuma Alvarezii* (Doty)) asal Kabupaten Luwu Sulawesi Selatan,” vol. 8, no. 2, pp. 174–184, 2023.
- [19] A. M. Rochman, N. W. Meray, and Sapri, “Formulasi dan Evaluasi Sediaan Nanoemulsi Gel Ekstrak Etanol Bunga Telang (*Clitoria Ternatea*) Sebagai Antioksidan,” pp. 43–51.
- [20] H. F. Asyhari, K. B. Cabral, and E. R. Wikantyasning, “Optimization of Soursop (*Annona muricata* L.) Leaf Extract in Nanoemulgel and Antiacnes Activity Test Against *Propionibacterium acnes*, *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis* Bacteria,” *Pharmacon J. Farm. Indones.*, vol. 20, no. 2, pp. 216–225, 2023, doi: 10.23917/pharmacon.v20i2.23308.
- [21] T. Imanto, R. Prasetiawan, and E. R. Wikantyasning, “Formulasi dan Karakterisasi Sediaan Nanoemulgel Serbuk Lidah Buaya (*Aloe Vera* L .) Formulation and Characterization of Nanoemulgel Containing Aloe,” vol. 16, no. 1, pp. 28–37, 2019.
- [22] N. A. Ahmad, K. Jumbri, A. Ramli, N. A. Ghani, H. Ahmad, and J. W. Lim, “A Kinetic Approach of DPPH Free Radical Assay of Ferulate-Based Protic Ionic Liquids (PILs),” *Molecules*, vol. 23, no. 12, pp. 1–12, 2018, doi: 10.3390/molecules23123201.
- [23] R. Rahmawati, A. Muflihunna, and L. M. Sarif, “Analisis Aktivitas Antioksidan Produk Sirup Buah Mengkudu (*Morinda Citrifolia* L.) dengan Metode DPPH,” *J. Fitofarmaka Indones.*, vol. 2, no. 2, pp. 97–101, 2016, doi: 10.33096/jffi.v2i2.177.
- [24] I. S. Fatmawati, Haeruddin, and W. O. Mulyana, “Uji Aktivitas Antioksidan Ekstrak Etil Asetat Daun Belimbing Wuluh (*Aveerrhoa bilimbi* L.) dengan Metode DPPH,” *SAINS J. Kim. dan Pendidik. Kim.*, vol. 12, no. 1, pp. 41–49, 2023, [Online]. Available: <http://sains.uho.ac.id/index.php/journal>