

PALM OIL-BASED NANO-FATLIQUORING AGENTS FOR LEATHER TANNING: A NARRATIVE REVIEW

NANO-FATLIQUORING AGENT BERBASIS MINYAK SAWIT UNTUK PENYAMAKAN KULIT: NARATIF REVIEW

**Atiqa Rahmawati^{*}, Heru Budi Susanto¹, Fadzkurisma Robbika¹, Baskoro Ajie¹, Erlita
Pramitaningrum²**

¹Teknologi Penyamakan Kulit, Politeknik ATK Yogyakarta, Yogyakarta, Indonesia

²Teknologi Pengolahan Produk Kulit, Politeknik ATK Yogyakarta, Yogyakarta, Indonesia

* Corresponding author: atiqa.rahmawati@atk.ac.id

Abstract:

The leather tanning industry is currently transforming toward sustainability through the application of nanotechnology. The fatliquoring process is a crucial stage for providing softness and mechanical strength to leather. Palm oil has great potential as a raw material for fatliquoring agents due to its abundant availability and favorable fatty acid composition. This review discusses the development of palm oil-based nano-fatliquoring agents, which covers fabrication techniques via chemical modifications (such as the use of organosilicon), sonochemical (ultrasonic) physical methods, and the stability of Pickering emulsions. Characterization is emphasized on the analysis of droplet size, zeta potential, and leather fiber morphology using SEM/TEM. The advantage of nanotechnology lies in the deeper penetration of droplets into collagen fibers, which not only enhances mechanical properties but also provides additional functions such as UV resistance and antimicrobial activity. Overall, the utilization of palm oil by-products like deodorizer distillate (DD) in a nano-emulsion offers strong future for cleaner production in the global leather industry.

Keywords: palm oil, fatliquoring agent, nanoemulsion, ultrasound

Intisari:

Industri penyamakan kulit kini bertransformasi menuju keberlanjutan melalui penerapan nanoteknologi. Proses fatliquoring merupakan tahap krusial untuk memberikan kelembutan dan kekuatan mekanis pada kulit. Minyak sawit (*palm oil*) memiliki potensi besar sebagai bahan baku agen *fatliquoring* karena ketersediaannya yang melimpah dan komposisi asam lemak yang menguntungkan. Review ini membahas perkembangan agen nano-fatliquoring berbasis minyak sawit, yang mencakup teknik pembuatan melalui modifikasi kimia (seperti penggunaan organosilikon), metode fisik sonokimia (ultrasonik), dan stabilitas emulsi *pickering*. Karakterisasi ditekankan pada analisis ukuran droplet, potensial zeta, dan morfologi serat kulit menggunakan SEM/TEM. Keunggulan teknologi nano terletak pada penetrasi droplet yang lebih dalam ke serat kolagen, yang tidak hanya meningkatkan sifat mekanis tetapi juga memberikan fungsi tambahan

seperti ketahanan sinar UV dan aktivitas antimikroba. Secara keseluruhan, penggunaan produk samping sawit seperti deodorizer distillate (DD) dalam format nano emulsi menawarkan visibilitas masa depan yang kuat untuk produksi bersih (*cleaner production*) di industri kulit global.

Kata kunci: minyak sawit, *fatliquoring agent*, nanoemulsi, *ultrasound*

Pendahuluan

Industri penyamakan kulit merupakan sektor yang melibatkan serangkaian reaksi kimia dan proses mekanis kompleks untuk mengubah kulit mentah menjadi material yang tahan lama [1], [2]. Salah satu tahapan dalam proses *pasca tanning* adalah *fatliquoring*. Proses ini bertujuan untuk memasukkan minyak ke dalam matriks kulit guna melumasi serat kolagen, mencegah serat-serat tersebut saling menempel (adhesi) selama pengeringan, serta memberikan sifat fleksibel, dan kekuatan mekanis pada produk akhir [3]. *Fatliquoring* dapat dibuat melalui modifikasi kimia minyak hewani atau nabati, seperti proses sulfatase dan sulfonasi untuk menghasilkan emulsi minyak dalam air yang stabil [4]. Namun, penggunaan bahan kimia berbahaya dalam metode ini sering kali menghasilkan limbah cair dengan beban pencemaran tinggi yang dapat merusak ekosistem perairan. Sejalan dengan isu lingkungan tersebut dan berkembangnya teknologi, terdapat tekanan besar bagi industri kulit untuk beralih ke teknologi bersih dan menggunakan bahan baku yang berkelanjutan serta ramah lingkungan.

Minyak sawit merupakan salah satu bahan baku yang potensial dan ekonomis karena ketersediaannya yang melimpah, terutama di negara seperti Indonesia dan Malaysia [5]. Keunggulan utama minyak sawit terletak pada komposisi asam lemaknya yang terdiri dari keseimbangan antara asam lemak jenuh (asam palmitat) dan tidak jenuh (asam oleat dan linoleat) [6]. Struktur kimia ini memberikan stabilitas oksidasi yang baik dan karakteristik pelumasan yang baik. Selain minyak sawit murni, produk sampingan industrinya seperti *deodorizer distillate* (DD) juga dapat divalorisasi menjadi *fatliquoring agent* multifungsi yang mengandung komponen bioaktif seperti tokoferol yang memberikan efek antibakteri tambahan pada kulit [5]. Inovasi dalam teknologi pembuatan *fatliquoring agent* melibatkan metode *ultrasound* sebagai homogenizer sehingga menghasilkan *fatliquoring* berukuran nanopartikel. Pengembangan *nano-fatliquoring agent*, seperti nanoemulsi (droplet 50–500 nm) dengan cara emulsi *pickering*, menawarkan keuntungan berupa stabilitas termodinamika yang lebih tinggi dan kemampuan penetrasi yang jauh lebih dalam ke dalam struktur kolagen kulit dibandingkan emulsi makro biasa [7]. Penggunaan nanopartikel anorganik seperti TiO₂ atau ZnO dalam emulsi *pickering* tidak hanya menstabilkan fase minyak tetapi juga meningkatkan ketahanan kulit terhadap sinar UV. Dalam paper ini akan dibahas mengenai karakterisasi minyak sawit sebagai bahan baku, metode pembuatan *nano-fatliquoring agent*, karakterisasi *fatliquoring agent*, aplikasi pada proses penyamakan kulit, dan visibilitas dan prospek *fatliquoring agent* dari minyak sawit.

Metode Penelitian

Metode penelitian menggunakan database *scopus*, *researchgate*, *google scholar* dan *Springer*. Kata kunci yang digunakan dalam pencarian meliputi kombinasi dari istilah-istilah berikut: "*palm oil fatliquor*", "*nanoemulsion leather*", "*Pickering emulsion leather*", "*ultrasound-assisted fatliquoring*", dan "*sulfonated palm oil*" Periode literatur yang ditinjau mencakup

penelitian dari tahun 2007 hingga 2024 untuk mengetahui perkembangan terbaru dalam nanoteknologi di industri kulit. Literatur yang dipilih harus memiliki kriteria utama yang berfokus pada minyak sawit yang digunakan sebagai bahan baku utama pembuatan *fatliquoring*, serta menggunakan pendekatan teknologi nanoemulsi. Data yang terpilih dikategorikan ke dalam empat tema utama yaitu metode pembuatan, karakterisasi dan analisis, evaluasi fungsi serta aplikasi. Adapun informasi mengenai keberlanjutan dan visibilitas teknologi nano pada penyamakan kulit juga ditambahkan dalam literatur *review*.

Hasil dan Pembahasan

Karakterisasi Bahan Baku

Pemilihan minyak sawit (*Palm Oil*) sebagai bahan baku utama agen *fatliquor* didasarkan pada karakteristik kimia dan fisiknya yang unik. Minyak sawit memiliki profil asam lemak yang hampir seimbang antara asam lemak jenuh dan asam lemak tidak jenuh [5]. Karakterisasi dari analisa GC-MS menunjukkan bahwa komponen utama minyak sawit adalah asam palmitat (C16:0) sekitar 40–48% dan asam oleat (C18:1) sekitar 36–44%[8]. Keberadaan asam oleat dan linoleat yang memiliki ikatan rangkap sangat krusial karena merupakan situs aktif untuk modifikasi kimia seperti sulfatasi, sulfonasi, atau fosforilasi guna menghasilkan emulsi yang stabil dalam air [9]. Selain itu, parameter kimiawi utama minyak sawit yang harus dianalisa sebelum diolah menjadi *fatliquoring agent* yaitu kadar asam lemak bebas, bilangan iodin dan kadar air. Minyak sawit memiliki bilangan Iodine sekitar 52,63 g iodine/100g, dimana bilangan iodine digunakan sebagai mengukur ketidak jenuhan minyak [10].

Metode Pembuatan Nano-fatliquoring agent

Pembuatan agen *fatliquor* pada skala nano bertujuan untuk meningkatkan stabilitas dan daya penetrasi minyak ke dalam jaringan kulit [5]. Terdapat empat pendekatan utama dalam pembuatan *nano-fatliquoring*:

1. Modifikasi kimia bertingkat, metode ini adalah sintesis minyak melalui empat tahap: amidasi dengan dietanolamina, *grafting* dengan organosilikon fungsional hidroksil, esterifikasi dengan maleat anhidrida, dan sulfonasi menggunakan natrium bisulfit [4]. Penggunaan organosilikon ini memberikan fleksibilitas luar biasa pada kulit, meskipun memerlukan biaya produksi yang lebih tinggi dan kontrol pH yang ketat agar ikatan Si-O tidak terputus [11], [12]. *Fatliquor* yang dimodifikasi organosilikon memiliki karakteristik emulsi dan dispersi yang sangat baik, dengan daya penetrasi yang tinggi ke dalam serat kolagen [4].
2. Teknologi Sonokimia (Ultrasonik daya tinggi), penggunaan ultrasonik (20–100 kHz) menjadi alternatif produksi bersih yang sangat efektif [4], [13]. Kavitasasi akustik menghasilkan gelombang kejut yang memecah droplet minyak menjadi ukuran nano tanpa memerlukan modifikasi kimia berat seperti sulfatasi konvensional [4]. Metode ini mampu menghasilkan emulsi yang stabil dengan jumlah surfaktan yang jauh lebih sedikit, sehingga mengurangi beban polusi pada limbah cair [4]. Metode *ultrasound-homogenizer* mampu membentuk emulsi yang lebih stabil tanpa proses sulfatase, menjadikan pilihan produksi bersih [14].
3. Metode *Pickering Emulsion*, metode ini menstabilkan antarmuka minyak/air menggunakan nanopartikel padat sebagai pengganti surfaktan organik tradisional. Prosedur yang

digunakan yaitu Minyak (seperti minyak jarak atau sawit) dicampur dengan nanopartikel anorganik seperti TiO_2 , ZnO , atau *Metal-Organic Frameworks* (MOFs) kemudian dihomogenisasi menggunakan ultrasonic [15]. Emulsi Pickering berbasis POZIF-8 terbukti stabil selama lebih dari dua bulan tanpa pemisahan fase[16].

4. Metode homogenisasi tekanan tinggi, metode ini mencampurkan minyak dan air melalui *homoginzer microfluidizer* dalam beberapa siklus hingga mencapai ukuran droplet [17]. Nanoemulsi dari fraksi kaya tokotrienol sawit menunjukkan pengurangan ukuran droplet dari 120 nm menjadi 65,1 nm setelah 10 siklus homogenisasi pada tekanan tinggi [17].

Tabel 1. Fatliquoring agent dari bererapa bahan baku dan metode

No	Referensi	Metode	Bahan baku	Hasil
1	<i>Power ultrasound in fatliquor preparation based on vegetable oil for leather application</i> [4]	<i>Ultrasound</i>	Minyak jarak	<i>Fatliquoring agent</i> berukuran mikro, emulsi stabil, dapat diaplikasikan pada kulit.
2	<i>Ultrasound assisted cleaner alternate emulsification method for oils and fats: tallow emulsion e fatliquor preparation for leather application</i> [9]	<i>Ultrasound</i>	Lemak sapi	Metode <i>ultrasound</i> menghasilkan emulsi dengan yield lebih tinggi, emulsi stabil, dan dapat diaplikasikan pada kulit.
3	<i>Research on application of flax and soya oil for leather fatliquoring</i> [3]	<i>Mixing Magnetic stirrer</i>	Minyak kedelai dan minyak biji rami	<i>Fatliquoring agent</i> yang dihasilkan memiliki ukuran partikel mikro, memiliki stabilitas yang baik, dan dapat diaplikasikan pada kulit. <i>Fatliquor</i> dengan minyak kedelai lebih baik dari minyak biji rami.
4	<i>Preparation of castor oil-based fatliquoring agent via a Pickering emulsion method for use in leather coating</i> [1]	<i>Pickering emulsion mixing</i>	Minyak jarak	<i>Fatliquoring agent</i> yang dihasilkan berukuran nano, memiliki stabilitas yang bagus, dan <i>fatliquoring agent</i> dapat meningkatkan karakteristik mekanis kulit.
5	<i>Preparation and application of castor oil/nano-TiO_2 composite fatliquoring agent via a Pickering emulsion method</i> [18]	<i>Pickering emulsion ultrasound</i>	Minyak jarak	<i>Fatliquoring agent</i> yang dihasilkan berukuran nano, memiliki stabilitas yang bagus, dan <i>fatliquoring agent</i> dapat meningkatkan karakteristik mekanis kulit, dan mudah terdegradasi

6	<i>Synthesis of Fatliquor from Palm Oil and Hydroxyl-Terminated Organosilicon [11]</i>	<i>Hydroxyl-terminated organosilicon modified</i>	<i>Palm oil</i>	Emulsi memiliki stabilitas yang bagus dan mempunyai <i>feeling touch</i> yang bagus.
---	--	---	-----------------	--

Metode analisa dan karakterisasi *nano-fatliquoring*

Evaluasi kualitas agen *nano-fatliquoring* memerlukan serangkaian instrumen presisi untuk memastikan efikasinya pada serat kolagen, adapun karakterisasi yang dapat dilakukan yaitu

1. Distribusi ukuran droplet, dianalisa dengan menggunakan *Particle Size Analyzer* (PSA). Droplet berukuran 50–500 nm terbukti memiliki kemampuan penetrasi yang lebih baik dari sisi grain hingga ke sisi flesh kulit dibandingkan emulsi makro tradisional [6], [19].
2. Stabilitas elektrostatis (*Zeta Potensial*). Nilai potensial zeta merupakan indikator stabilitas jangka panjang; nilai yang melebihi ± 30 mV menunjukkan gaya tolak-menolak elektrostatis yang kuat, mencegah flokulasi droplet selama penyimpanan [20].
3. Verifikasi Struktur (FTIR dan NMR): Spektroskopi FTIR mengonfirmasi keberhasilan modifikasi kimia, seperti munculnya puncak pada 1209 cm^{-1} untuk gugus sulfonat (S=O) atau 1261 cm^{-1} untuk ikatan Si–O–Si. Analisis NMR memberikan data lebih detail mengenai saturasi rantai asam lemak setelah proses sulfonasi [13].
4. Visualisasi mikroskopik (SEM/TEM). TEM digunakan untuk melihat struktur internal droplet (misalnya minyak yang terenkapsulasi oleh nanopartikel) [19]. Sementara itu, SEM-EDX mengevaluasi distribusi lemak dan elemen (seperti Ti, Zn, atau P) di dalam penampang melintang kulit untuk memastikan pelumasan yang seragam pada serat kolagen [19].

Fungsi dan Mekanisme Kerja *Fatliquoring Agent*

Fungsi utama agen *nano-fatliquoring* adalah melumasi serat kolagen untuk mencegah adhesi selama pengeringan, yang menghasilkan kulit dengan kelembutan (*softness*) dan kekuatan tarik yang unggul. Ukuran partikel nano memungkinkannya masuk ke dalam celah kolagen dan membentuk lapisan film tipis yang memisahkan serat, mencegah mereka saling menempel (adhesi) saat proses pengeringan [21]. Penggunaan *nano-fatliquor* terbukti meningkatkan kekuatan tarik (*tensile strength*), kekuatan sobek (*tear strength*), dan perpanjangan saat putus (*elongation at break*) dibandingkan agen konvensional [13], [17], [22]. Penambahan nanopartikel seperti TiO_2 atau ZnO dalam format nano memberikan perlindungan UV yang signifikan (*lightfastness*), melindungi kolagen dari degradasi akibat sinar matahari. Selain itu, penggunaan minyak sawit yang kaya akan tokoferol atau penambahan agen antimikroba nabati memberikan sifat *antifungal* dan antibakteri pada kulit [22], [23].

Mekanisme Aplikasi pada Proses Penyamakan Kulit

Aplikasi agen *nano-fatliquor* dilakukan pada tahap pasca-penyamakan (*post-tanning*), tepatnya setelah proses netralisasi kulit *wet-blue* [24].

1. Penetrasi ke matriks Serat: Kulit terdiri dari jaringan kolagen yang sangat kompleks dan berpori [2], [25]. Tanpa proses *fatliquoring*, air di antara serat akan hilang saat pengeringan,

- menyebabkan serat saling menempel (*adhesi*) dan menghasilkan kulit yang kaku dan keras [26]. *Droplet fatliquor* dalam skala nano (50–500 nm) memiliki kemampuan penetrasi yang jauh lebih baik dibandingkan emulsi konvensional, sehingga mampu masuk ke celah terkecil di antara fibril kolagen dan melumasinya secara merata dari sisi *grain* hingga sisi *flesh* [16].
- Dinamika Penetrasi: Partikel berukuran ≤ 70 nm mampu menembus hingga ke lapisan dermis terdalam. Sebaliknya, partikel berukuran ≥ 600 nm hanya akan tertahan di lapisan luar kulit.
2. Interaksi elektrostatis, Agen *fatliquor* berbasis minyak sawit umumnya bersifat anionik setelah dimodifikasi dengan gugus sulfat atau fosfat [14]. Hal ini memungkinkan terjadinya ikatan yang kuat dengan serat kolagen kulit samak krom yang bermuatan kationik [18]. Penggunaan nanopartikel seperti TiO_2 atau MOFs dalam emulsi *pickering* juga dapat meningkatkan stabilitas mekanis melalui gaya van der Waals atau ikatan hidrogen dengan gugus fungsional kolagen [27].
 3. Teknis penambahan *fatliquoring agent* dalam skala laboratorium maupun industri, kulit dimasukkan ke dalam drum penyamakan Bersama air hangat ($\pm 60^\circ\text{C}$) dan agen *fatliquor* sebanyak 6–15% dari berat kulit. Suhu yang tepat sangat penting agar emulsi terdispersi dengan baik dan tidak pecah sebelum meresap ke dalam pori kulit.

Visibilitas dan Prosek di masa depan

Teknologi *nano-fatliquoring* berbasis minyak sawit menunjukkan visibilitas tinggi sebagai solusi industri kulit yang berkelanjutan. Valorisasi Limbah (*Circular Economy*): Penggunaan produk sampingan seperti *deodorizer distillate* (DD) atau minyak sawit bekas (*used palm oil*) sebagai bahan baku menawarkan keuntungan ekonomi yang signifikan serta mengurangi dampak lingkungan dari limbah industri sawit [22]. Pemanfaatan minyak sawit bekas dalam pengolahan kulit ikan nila memberikan implikasi ekonomi yang strategis. Meskipun minyak segar memiliki kualitas awal yang lebih tinggi, minyak sawit bekas yang diproses dengan benar dapat menjadi alternatif berkelanjutan untuk kulit ikan yang memiliki kebutuhan struktur lemak lebih spesifik, selama parameter kimia tetap terkendali. Produksi Bersih (*Cleaner Production*): Metode fisik seperti ultrasonik dan emulsi *Pickering* mengurangi penggunaan bahan kimia berbahaya (seperti asam sulfat pekat), yang secara langsung menurunkan nilai BOD dan COD pada air limbah penyamakan [23], [28]. Stabilitas dan Penetrasi Tinggi: Kemampuan sistem nano untuk menembus jauh ke dalam lapisan kulit (dari *grain* hingga *flesh*) memastikan pelumasan yang seragam dan tahan lama, meningkatkan masa pakai produk kulit [15].

Kesimpulan

Pengembangan agen *nano-fatliquoring* berbasis minyak sawit merupakan langkah strategis untuk meningkatkan daya saing industri kulit sekaligus menjaga kelestarian lingkungan. Melalui karakterisasi asam lemak yang presisi dan pemanfaatan nanoteknologi (*pickering emulsion* dan ultrasonik), minyak sawit mampu menggantikan peran bahan kimia sintetis dengan performa pelumasan serat yang lebih unggul. Aplikasi teknologi ini tidak hanya menghasilkan kulit yang lembut dan kuat secara mekanis, tetapi juga memberikan fungsi tambahan seperti ketahanan UV dan bioaktivitas antimikroba yang sangat dibutuhkan oleh pasar kulit global di masa depan.

Daftar Pustaka

- [1] A. Sardari, A. A. Sabbagh Alvani, dan S. R. Ghaffarian, "Preparation of castor oil-based fatliquoring agent via a Pickering emulsion method for use in leather coating," *J. Coat. Technol. Res.*, vol. 16, no. 6, hlm. 1765–1772, Nov 2019, doi: 10.1007/s11998-019-00234-1.
- [2] M. A. Razzaq dkk., "Fatliquor for fungus resistant leather-a sustainable ecofriendly approach," *Heliyon*, vol. 10, no. 11, Jun 2024, doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e31598.
- [3] J. Zarłok, K. Śmiechowski, K. Mucha, dan A. Tęcza, "Research on application of flax and soya oil for leather fatliquoring," *J. Clean. Prod.*, vol. 65, hlm. 583–589, Feb 2014, doi: 10.1016/j.jclepro.2013.07.044.
- [4] V. Sivakumar, R. P. Prakash, P. G. Rao, B. V. Ramabrahmam, dan G. Swaminathan, "Power ultrasound in fatliquor preparation based on vegetable oil for leather application," *J. Clean. Prod.*, vol. 16, no. 4, hlm. 549–553, Mar 2008, doi: 10.1016/j.jclepro.2007.01.006.
- [5] L. M. Ayompe, M. Schaafsma, dan B. N. Egoh, "Towards sustainable palm oil production: The positive and negative impacts on ecosystem services and human wellbeing," 1 Januari 2021, *Elsevier Ltd.* doi: 10.1016/j.jclepro.2020.123914.
- [6] M. J. Suriani, H. Z. Rapi, R. A. Ilyas, M. Petru, dan S. M. Sapuan, "Delamination and Manufacturing Defects in Natural Fiber-Reinforced Hybrid Composite: A Review," *Polymers (Basel)*, vol. 13, no. 8, hlm. 1323, Apr 2021, doi: 10.3390/polym13081323.
- [7] A. M. T. Lago, I. C. O. Neves, N. L. Oliveira, D. A. Botrel, L. A. Minim, dan J. V. de Resende, "Ultrasound-assisted oil-in-water nanoemulsion produced from *Pereskia aculeata* Miller mucilage," *Ultrason. Sonochem.*, vol. 50, hlm. 339–353, Jan 2019, doi: 10.1016/j.ultsonch.2018.09.036.
- [8] V. Sivakumar, K. Gayathri, P. S. Pranavi, dan F. Chandrasekaran, "Ultrasound assisted cleaner alternate emulsification method for oils and fats: Tallow emulsion - Fatliquor preparation for leather application," *J. Clean. Prod.*, vol. 37, hlm. 1–7, Des 2012, doi: 10.1016/j.jclepro.2012.05.039.
- [9] C. Wang, S. Feng, dan J. Wu, "Preparation of organosilicone modified Palm oil fatliquor," *JALCA*, vol. 106, Nov 2011.
- [10] N. Kamely, "'Fatliquors' for leathers: an application of microemulsion—a review," 1 Maret 2022, *Springer Science and Business Media Deutschland GmbH*. doi: 10.1007/s00289-021-03579-z.
- [11] L. Zhou, J. Zhang, L. Xing, dan W. Zhang, "Applications and effects of ultrasound assisted emulsification in the production of food emulsions: A review," 1 April 2021, *Elsevier Ltd.* doi: 10.1016/j.tifs.2021.02.008.
- [12] A. N. Nkwor dan P. O. Ukoha, "Evaluation of the leather fatliquoring potential of sulphonated *Azadirachta indica* aril cap oil," *Heliyon*, vol. 6, no. 1, Jan 2020, doi: 10.1016/j.heliyon.2019.e03009.
- [13] E. S. H. A. Nashy, A. G. Abdel-Razek, M. M. M. Hassanein, G. A. Abo-Elwafa, dan H. Elsayed, "Valorization of sustainable vegetable oil deodorizer distillate as a novel fatliquor," *Collagen and leather*, vol. 5, no. 1, Des 2023, doi: 10.1186/s42825-023-00124-8.
- [14] E. Kasmudjiastuti, R. S. Murti, T. Suraya, dan S. Sugihartono, "Aplikasi minyak sulfat dari minyak kelapa sawit (*Elaeis guineensis* JACQ) sebagai fatliquoring," *Majalah Kulit, Karet, dan Plastik*, vol. 35, no. 2, hlm. 83, Jan 2020, doi: 10.20543/mkcp.v35i2.5632.

- [15] K. Gurpreet dan S. K. Singh, "Review of Nanoemulsion Formulation and Characterization Techniques," *Indian J Pharm Sci*, vol. 80, hlm. 781–789, 2018, [Daring]. Tersedia pada: www.ijpsonline.com
- [16] B. Lyu, H. Di Wang, J. Z. Ma, D. G. Gao, dan P. Jin, "Preparation and application of castor oil/nano-TiO₂ composite fatliquoring agent via a Pickering emulsion method," *J. Clean. Prod.*, vol. 126, hlm. 711–716, Jul 2016, doi: 10.1016/j.jclepro.2016.02.099.
- [17] E. Rahmawati dan M. Utami, "Analysis Of Free Fatty Acid Content and Water Content in Crude Palm Oil in The Laboratory of PT. Bina Pitri Jaya Mill Analisis Kadar Asam Lemak Bebas dan Kadar Air Pada Crude Palm Oil di Laboratorium PT. Bina Pitri Jaya Mill," 2022.
- [18] C. H. Tan, C. J. Lee, S. N. Tan, D. T. S. Poon, C. Y. E. Chong, dan L. P. Pui, "Red palm oil: A review on processing, health benefits and its application in food," 2021, *Japan Oil Chemists Society*. doi: 10.5650/jos.ess21108.
- [19] V. Bali, M. Ali, dan J. Ali, "Study of surfactant combinations and development of a novel nanoemulsion for minimising variations in bioavailability of ezetimibe," *Colloids Surf. B Biointerfaces*, vol. 76, no. 2, hlm. 410–420, Apr 2010, doi: 10.1016/j.colsurfb.2009.11.021.
- [20] O. I. Mba, M. J. Dumont, dan M. Ngadi, "Palm oil: Processing, characterization and utilization in the food industry - A review," 1 Juni 2015, *Elsevier Ltd*. doi: 10.1016/j.fbio.2015.01.003.
- [21] L. Karlina, H. Sanjaya, dan S. Budiman, "Metode Sintesis Nanopartikel-TiO₂ : A Review," *MASALIQ*, vol. 3, no. 6, hlm. 1199–1214, Sep 2023, doi: 10.58578/masaliq.v3i6.1756.
- [22] D. Erliani, M. Sari, D. Triyana Puryanti, R. Islamiyati, L. G. Zulkarya, dan B. Ruyanto, "Formulation and Evaluation of Nanoemulsions Combination of Black Cumin Seed Oil (*Nigella sativa* L.) and Moringa Seed Oil (*Moringa oleifera* L.) as Sunscreen," *Jurnal Farmasi dan Kesehatan*, vol. 14, no. 2, hlm. 464–480, 2025.
- [23] Mardiyanto, R. Mohadi, N. A. Fithri, dan G. Kurniawan, "Optimization of Nanoemulsion Formula Containing Erythromycin with VCO and Varying Concentrations of Tween-80 and PEG-400," *Science and Technology Indonesia*, vol. 9, no. 3, hlm. 697–709, Jul 2024, doi: 10.26554/sti.2024.9.3.697-709.
- [24] A. Pertiwinigrum, K. E. Nugroho, M. A. N. Roufi, A. A. Parameswari, dan V. Pastawan, "Effect of using fresh palm oil and used palm oil as a fat liquoring agent to the chemical quality of leather from tilapia fish skin," dalam *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, IOP Publishing Ltd, Jan 2022. doi: 10.1088/1755-1315/951/1/012038.
- [25] C. Wang, T. Li, dan S. Feng, "Synthesis of Fatliquor from Palm Oil and Hydroxyl-Terminated Organosilicon," *Asian Journal of Chemistry*, vol. 24, no. 1, Sep 2012.
- [26] M. U. Beandrade, "Formulasi dan Karakterisasi SNEDDS Ekstrak Jinten Hitam (*Nigella Sativa*) dengan Fase Minyak Ikan Hiu Cucut Botol (*Centrophorus* Sp) serta Uji Aktivitas Imunostimulan," *JPSCR : Journal of Pharmaceutical Science and Clinical Research*, vol. 3, no. 1, hlm. 50, Mar 2018, doi: 10.20961/jpscr.v3i1.15506.