

Studi Literatur Pengembangan Emulsi Pickering Minyak Atsiri sebagai Antibakteri

Rafika Susun Nursunda*, Aulia Fikri Hidayat, Sani Ega Priani

Prodi Farmasi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Islam Bandung, Indonesia.

*rafikasusunnursunda12@gmail.com, aulia.fikri.h@gmail.com, egapriani@gmail.com

Abstract. Bacteria are organisms that can enter the digestive tract which can cause several diseases, so it is necessary to be given an antibacterial. Essential is the result of the secondary metabolism of plants containing volatile compounds known to have antibacterial activity that can fight pathogenic bacteria. However, essential oils have a disadvantage, namely that they are volatile so they can affect their activity as an antibacterial. Therefore, the ideal delivery system for essential oils is Pickering emulsion. Pickering emulsion is an emulsion that is stabilized by solid particles that have different characteristics so that they can encapsulate essential oils to overcome their limitations, improve stability, and increase their antibacterial activity. This study aims to determine the characteristics of Pickering emulsions and to determine their ability to inhibit bacterial growth using the Systematic Literature Review (SLR) method, where the data used are sourced from scientific journals published in the last 10 years. The results obtained from the literature review show that the characteristics of the resulting solid particles meet the requirements with small particle size, zeta potential value of >30 mV, and wettability close to 90° . In addition, essential oil Pickering emulsions are generally known to have more effective antibacterial activity and can inhibit bacterial growth compared to pure essential oils.

Keywords: *Essential Oil, Pickering emulsion, Antibacterial.*

Abstrak. Bakteri merupakan organisme yang dapat masuk ke dalam saluran pencernaan yang dapat mengakibatkan beberapa penyakit sehingga perlu diberikan suatu antibakteri. Minyak atsiri merupakan minyak hasil metabolisme sekunder tumbuhan mengandung senyawa-senyawa volatil yang diketahui memiliki aktivitas antibakteri yang dapat melawan bakteri patogen. Namun minyak atsiri memiliki kekurangan yaitu mudah menguap sehingga sapat mempengaruhi aktivitasnya sebagai antibakteri. Oleh karena itu, sistem penghantaran yang sesuai untuk minyak atsiri yaitu Emulsi pickering. Emulsi pickering merupakan emulsi yang distabilkan oleh partikel padat yang memiliki karakteristik yang berbeda sehingga dapat mengenkapsulasi minyak atsiri untuk mengatasi keterbatasannya, meningkatkan stabilitas dan meningkatkan aktivitas antibakterinya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik emulsi pickering dan untuk mengetahui kemampuannya dalam menghambat pertumbuhan bakteri menggunakan metode Systematic Literature Review (SLR), dimana data yang digunakan bersumber dari jurnal-jurnal ilmiah yang dipublikasikan dalam rentang waktu 10 tahun ke belakang. Hasil yang didapatkan dari penelusuran pustaka menunjukkan bahwa karakteristik partikel padat yang dihasilkan memenuhi persyaratan dengan ukuran partikel yang kecil, nilai potensial zeta >30 mV dan keterbasahan yang mendekati 90° . Selain itu, emulsi pickering minyak atsiri diketahui secara umum memiliki aktivitas antibakteri yang lebih efektif dan mampu menghambat pertumbuhan bakteri dibandingkan dengan minyak atsiri murni.

Kata Kunci: *Minyak Atsiri, Emulsi Pickering, Antibakteri.*

A. Pendahuluan

Bakteri merupakan organisme yang dapat masuk ke dalam saluran pencernaan melalui makanan yang terkontaminasi. Berdasarkan estimasi WHO, terdapat lebih dari 600 juta kasus penyakit yang disebabkan oleh makanan yang terkontaminasi dan 350 juta kasusnya disebabkan oleh bakteri patogen. Beberapa bakteri patogen yang berperan serta sebagai penyebab penyakit melalui makanan yaitu *Campylobacter*, *Salmonella*, *Yersinia enterocolitica* dan *Listeria monocytogenes* (1). Sehingga, pertumbuhan bakteri tersebut harus dihambat dengan antibakteri. Antibakteri adalah suatu zat yang dapat menghambat dan membunuh pertumbuhan bakteri patogen. Bahan yang dapat digunakan sebagai antibakteri yaitu salah satunya minyak atsiri.

Minyak atsiri merupakan senyawa metabolit sekunder yang dapat ditemukan pada beberapa bagian tumbuhan seperti bunga, biji, daun, kulit kayu, akar dan buah-buahan. Umumnya minyak atsiri digunakan sebagai pemberi aroma pada pangan, kosmetik atau sebagai komponen fungsional dalam produk farmasi. Selain itu, minyak atsiri mengandung beberapa senyawa yaitu seperti alkohol, aldehida, fenol, dan ester diketahui memiliki kemampuan sebagai antibakteri (2). Berbagai hasil penelitian telah melaporkan aktivitas antibakteri minyak atsiri seperti serai, cengkeh, oregano, kayu manis, kayu putih dan lainnya. Hanya saja terdapat keterbatasan dalam penggunaan minyak atsiri ini yaitu minyak atsiri sensitive terhadap cahaya, mudah menguap dan tidak stabil (3). Oleh karena itu, untuk mengatasi masalah tersebut salah satu upaya yang dapat dilakukan yaitu dengan melakukan enkapsulasi terhadap minyak atsiri dengan metode emulsi Pickering yang bertujuan untuk meningkatkan stabilitasnya dan memastikan efektivitasnya.

Emulsi Pickering merupakan emulsi bebas surfaktan yang distabilkan oleh partikel padat. Partikel padat yang digunakan dapat berasal dari organik maupun anorganik yang memiliki kemampuan dapat berikatan dengan fase minyak dan air serta memiliki ukuran yang kecil. Partikel padat yang digunakan dapat memfasilitasi pembentukan emulsi dengan terabsorpsinya partikel padat pada permukaan droplet minyak dan menghasilkan emulsi yang lebih stabil dibandingkan dengan emulsi konvensional. Partikel padat yang sudah menempel pada antarmuka minyak-air akan sulit terlepas dan akan membentuk pelindung mekanis yang efektif berupa lapisan elastis yang sangat kokoh sehingga stabilitasnya akan lebih lama (4). Emulsi Pickering ini banyak digunakan karena lebih ramah lingkungan dan aman. Emulsi Pickering memiliki keuntungan yang lebih tinggi seperti stabilitas yang tinggi dan toksisitas rendah (5). Ukuran yang kecil dalam penggunaan partikel padat pun membantunya dalam meningkatkan penyerapan dalam aktivitasnya sebagai antibakteri. Emulsi Pickering dapat diaplikasikan dalam industri pangan, kosmetik, farmasi dan dapat juga digunakan sebagai pembawa senyawa komponen seperti minyak atsiri (6). Oleh karena itu, Emulsi Pickering menjadi alternatif yang dapat digunakan dalam beberapa tahun terakhir.

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, maka dapat ditarik rumusan masalah dalam penelitian ini yaitu apa saja jenis partikel penstabil, bagaimana karakteristik partikel penstabil emulsi Pickering dan bagaimana aktivitas emulsi Pickering minyak atsiri dalam menghambat pertumbuhan bakteri patogen. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui jenis dan karakteristik dari emulsi Pickering dan untuk mengetahui kemampuan sediaan emulsi Pickering minyak atsiri dalam menghambat pertumbuhan bakteri patogen.

B. Metodologi Penelitian

Jenis penelitian yang dilakukan adalah *Systematic Literature Review* (SLR) yaitu studi literatur yang dilakukan secara sistematis dengan menggunakan diagram alir PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Metaanalyses*). Untuk mengidentifikasi, menganalisis, mengevaluasi dan menginterpretasi temuan dari berbagai studi penelitian pada suatu topik penelitian. Artikel penelitian yang diperoleh berasal dari database bereputasi yaitu *Science direct*, *Wiley*, *Springer* dan *Royal Society of Chemistry*. Kata kunci yang digunakan yaitu "*Pickering emulsion*", "*Essential oil*", dan "*antibacterial*" menggunakan *advanced search* 'AND', 'OR' dan 'NOT' berikut: 'Pickering Emulsion' AND 'Essential oil' AND 'Antibacterial' NOT 'review'

Pemilihan jurnal dan artikel yang digunakan dalam penelitian SLR ini didasarkan pada kriteria inklusi dan eksklusi. Kriteria inklusi artikel yang diterima yaitu artikel yang terpublikasi dalam bahasa Inggris, terindeks Scopus, tersedia dalam teks lengkap, dengan rentang waktu 10 tahun terakhir (2014-2024) dan artikel mengandung pembahasan mengenai *Pickering emulsion*, *essential oil*, dan *antibacterial*. Kriteria eksklusi yang ditetapkan yaitu artikel yang mengkaji tentang emulsi Pickering minyak atsiri sebagai antibakteri namun tidak memuat data karakteristik partikel dan pengujian antibakteri.

Ekstraksi data yang dilakukan terhadap artikel/jurnal yang memenuhi kriteria inklusi dan eksklusi. Ekstraksi data ini bertujuan untuk menjawab rumusan masalah yang telah ditetapkan, sehingga data-data yang akan diekstraksi meliputi karakteristik partikel dan pengujian antibakteri terhadap sampel makanan. Setelah itu, data tersebut direview/dikumpulkan dalam bentuk kajian ilmiah pada skripsi ini..

C. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Terdapat perkembangan metode baru yang dapat digunakan sebagai penstabil dalam emulsi salah satunya menggunakan partikel padat. Partikel padat dapat digunakan sebagai penstabil dengan cara mengandalkan kemampuannya untuk teradsorpsi pada permukaan antara dua fase dalam emulsi sehingga membentuk lapisan pelindung dan mencegah terjadinya penggabungan droplet. Selain itu, partikel padat juga dianggap memiliki stabilitas yang lebih baik, toksisitas lebih rendah serta memiliki kemampuan permeabilitas yang dapat diatur. Berdasarkan hasil pencarian pustaka, terdapat beberapa jenis partikel padat yang digunakan sebagai penstabil dalam emulsi Pickering, data karakteristik partikel yang dapat mempengaruhi stabilitas emulsi Pickering dan aktivitas antibakteri.

Tabel 1. Jenis dan Karakteristik Partikel Padat

Jenis partikel	Partikel padat	Karakteristik Suspensi Partikel Padat			Emulsi pickering		Pustaka
		Ukuran partikel (nm)	Potensial zeta (mV)	Sudut kontak (°)	Fase minyak	Karakteristik	
Polisakarida	TSNPs	215,9 ± 6,4	-17,4 ± 0,8	84,3 ± 1,25	-	Uk 30,52 ± 0,84 µm	(Ge et al., 2017) ⁷
	CSNPs	192,7 ± 4,5	-15,5 ± 0,7	94,8 ± 0,54		Uk 32,34 ± 1,24 µm	
	WSNPs	227,7 ± 6,1	-14,5 ± 0,4	45,6 ± 0,53		Uk – CI 90%	
	SPSNPs	184,5 ± 1	-16,7 ± 0,8	89,1 ± 0,53		Uk 28,45 ± 1,2 µm CI 2,5; 1; 18% (1 j, 1h, 1thn)	
	CNC	131	-33	-	Minyak atsiri kayu manis	Uk 25-50 µm ZP (-29) - (-38,3 mV) CI 34,4%	(Souza et al., 202) ⁸
	CNF	66,3	-33,2	-	Minyak atsiri kayu manis	Uk 30 - ~100 µm Zp -18,3 mV	
Polisakarida-protein	LF/FD	248,67	-20	63,9 ± 1,90	Minyak atsiri cengkeh	Uk 19,14-42,24 µm	(Xi et al., 2023) ⁹
	SPI/CS	202,12 ± 12,37	-57,18 ± 0,09	67,9	Minyak atsiri cengkeh	Uk 530-800 µm ZP -38,5 mV % EE 65,23	(Wu et al., 2022) ¹⁰
	SPI/CHC	291-701	45	-	Minyak atsiri jeruk	-	(Yu et al., 2023) ¹¹
	ZCP	660,0 ± 8,1	-31,23	89,2	Minyak atsiri kayu manis	Uk < 15 µm	(Jiang et al., 2019) ²

ZC-CNC	196	-25	89,65	Minyak atsiri kayu manis	Uk 51,8 μ m %EE 90	(Qin et al., 2024) ¹²
--------	-----	-----	-------	-----------------------------------	---------------------------	--

Keterangan: TSNPs (Tapioca Starch Nanoparticles), CSNPs (Corn Starch Nanoparticles), WSNPs (Waxy Corn Starch Nanoparticles), SPSNPs (Sweet Potato Starch Nanoparticles), CNC (Celulosa Nanocrystals), CNF (Celulosa Nanofibrils), LF/FD (Lactoferrin/ Fucoidan), SPI/CS (Soybean Protein Isolate/Chitosan Particles), SPI/CHC (Soybean Protein Isolate/ Chitosan hydrochloride), ZCP (Zein Pectin Composite Nanoparticle), ZC-CNC (Zein- Carboxylated Cellulose Nanocrystals Composite Nanoparticles)

Dari hasil pengkajian pustaka yang telah dilakukan, secara umum emulsi Pickering dapat dikembangkan dalam dua jenis partikel padat yaitu polisakarida. Polisakarida yang banyak digunakan yaitu pati. Pati dapat ditemukan di berbagai tanaman seperti jagung, kentang, dan beras. Bersifat mudah terurai, mudah didapatkan, murah dan tidak berbahaya (13). Namun pati alami memiliki kelemahan yaitu tidak bersifat amfifilik, tidak stabil, hidrofobisitas yang buruk dan memiliki ukuran partikel yang besar sehingga menghasilkan emulsifikasi yang kurang baik. Untuk mengoptimalkannya maka dilakukan modifikasi dengan cara nanopresipitasi. Jenis partikel yang berasal dari polisakarida lainnya yaitu selulosa. Selulosa merupakan biopolimer yang melimpah dan dapat ditemukan pada tumbuhan, hewan laut, ganggang dan bakteri. Selulosa memiliki keunggulan yaitu biokompatibilitas dan biodegradabilitasnya yang sangat baik (14). Namun, untuk penggunaannya sebagai penstabil digunakan nanoselulosa. Nanoselulosa adalah partikel selulosa dengan setidaknya satu dimensinya berukuran nanometer. Nanoselulosa yang sering digunakan untuk menstabilkan emulsi Pickering yaitu CNC dan CNF. Partikel CNC memiliki ukuran partikel 131 nm dan potensial zeta yang tinggi (-33 mV) sedangkan CNF memiliki ukuran partikel 66,3 nm dan potensial zeta yang tinggi (-33,2 mV). Partikel tersebut dapat digunakan sebagai pentabil karena memiliki potensial zeta yang tinggi dan bermuatan negatif. Potensial zeta yang negatif menyebabkan gaya tolak antartpartikel lebih kuat sehingga dapat mencegah agregasi yang tidak diinginkan

Jenis partikel padat selanjutnya yaitu kombinasi antara polisakarida dengan protein. Kombinasi polisakarida dan protein tertentu dapat membentuk partikel yang dapat digunakan sebagai penstabil dalam emulsi Pickering. Partikel-partikel tersebut dapat dikombinasikan oleh interaksi elektrostatik atau ikatan hidrogen. Kombinasi yang dilakukan bertujuan untuk memperbaiki kekurangan dari salah satu partikel atau dapat juga memperbaiki karakteristik seperti karakteristik keterbasahan dan muatan partikel. Karakteristik tersebut dapat dikontrol dengan mengubah komposisi dan kondisi larutannya (15; 16).

Partikel padat yang memenuhi persyaratan memiliki 1) ukuran partikel lebih kecil dari droplet emulsinya, ukuran partikel yang kecil akan memiliki kinetika adsorpsi yang lebih cepat dan struktur yang efisien pada antarmuka dari kedua fase, sedangkan ukuran partikel yang besar akan semakin lama waktu adsorpsinya pada antarmuka sehingga mengakibatkan peningkatan ukuran droplet akhir. 2) Potensial zeta >25 mV, Partikel pada rentang tersebut akan memiliki kecenderungan stabil dan tidak mengalami agregasi dan 3) sudut kontak mendekati 90° , Sudut kontak akan menggambarkan afinitas dari partikel padat. Partikel dengan sudut kontak berkisar antara $0 \leq \theta < 90^\circ$ akan memiliki sifat hidrofilik dan mempunyai afinitas yang lebih besar terhadap air sehingga menghasilkan emulsi m/a, sedangkan partikel dengan sudut kontak berkisar antara $90^\circ < \theta \leq 180^\circ$ memiliki sifat hidrofobik dan akan membentuk emulsi a/m (17; 18). Karakteristik tersebut dapat mempengaruhi karakteristik dan stabilitas emulsi Pickering. Partikel-partikel padat yang diperoleh memiliki kemampuan yang baik dalam emulsifikasi sehingga dapat digunakan sebagai penstabil dalam emulsi Pickering. Selain itu, karena kestabilan emulsi Pickering yang baik ditandai dengan ukuran droplet yang kecil dan %EE yang tinggi maka dapat digunakan untuk mengenkapsulasi beberapa komponen lipofilik seperti minyak atsiri, komponen bioaktif, vitamin dan lainnya (10).

Dari pemaparan sebelumnya bahwa emulsi Pickering dapat mengenkapsulasi komponen minyak atsiri yang baik, yang mana, minyak atsiri tersebut memiliki potensi sebagai antibakteri.

Sehingga dilakukan pengujian aktivitas antibakteri pada emulsi Pickering yang bertujuan untuk menentukan kemampuan minyak atsiri dalam bentuk emulsi Pickering dalam membunuh dan penghambat pertumbuhan bakteri. Aktivitas antibakteri yang dihasilkan akan bergantung pada strain bakteri yang diuji dan kandungan senyawa kimia dalam minyak atsiri. Parameter yang digunakan dalam uji aktivitas antibakteri ini yaitu konsentrasi hambat minimum (KHM). KHM adalah konsentrasi minimal zat antimikroba yang dapat menghambat suatu mikroorganisme setelah diinkubasi selama 24 jam.

Tabel 2. Aktivitas Antibakteri Emulsi Pickering

Minyak atsiri	Partikel padat	Ukuran droplet (µm)	Bakteri	KHM (µl/mL)		Pustaka
				Minyak atsiri	Emulsi Pickering	
Thyme putih	CNC	5	<i>Escherchia coli</i>	0,625	0,312	(Shin et al., 2019) ¹⁹
			<i>Staphylococcus aureus</i>	0,625	0,25	
jeruk	SPI/CHC	<40	<i>Escherchia coli</i>	1,875	1,875	(Yu et al., 2023) ¹¹
			<i>Staphylococcus aureus</i>	1,875	0,938	
Oregano	CNC	1,2 – 2,9	<i>Escherchia coli</i>	0,125	12,5	(Zhou et al., 2018) ²⁰
			<i>Staphylococcus aureus</i>	0,125	12,5	
			<i>S. cerevisiae</i>	0,0625	12,5	
			<i>Bacillus subtilis</i>	0,125	6,25	
Cengkeh	CNC	0,521	<i>Escherchia coli</i>	6,25	1,25	(Yu el at., 2018) ²¹
			<i>Staphylococcus aureus</i>	10	6,25	
<i>Mosla chinensis</i> 'Jiangxiangru'	ELA-NS	0,5-1	<i>Escherchia coli</i>	0,45	0,3	(Su et al., 2024) ²²
			<i>S aureus</i>	0,6	0,45	
			<i>P. aeruginosa</i>	1,2	1,2	
Daun Cengkeh	OSA- waxy maize starch	1-6	<i>E. coli</i>	2,042	0,157	(Santos et al., 2024) ²³
			<i>P. aeruginosa</i>	16,344	1,226	
			<i>S. aureus</i>	16,344	0,513	
			<i>E. faecalis</i>	22,881	1,023	

Keterangan:

CNC : Celullosa nanocrystals
SPI/CHC : Soybead protein isolate/ chitosan hydrochloride
ELA-NS : Ethyl lauroyl arginate-decorated nanosilica
OSA : Octenyl succinic anhydride

Berdasarkan hasil studi literatur pengujian aktivitas antibakteri terdapat beberapa minyak atsiri yang diketahui memiliki aktivitas antibakteri karena dipengaruhi oleh senyawa yang terkandung dalam minyak atsiri tersebut. Dari hasil pengkajian pustaka yang telah dilakukan, secara umum minyak atsiri yang dikemas dalam bentuk emulsi Pickering dapat secara efektif menghambat pertumbuhan bakteri gram negatif dan bakteri gram positif yang ditandai dengan nilai KHM yang diperoleh lebih kecil dibandingkan dengan minyak atsiri itu murni. Adapun partikel padat yang digunakan diduga dapat membantu meningkatkan aktivitas antibakteri dengan berbagai mekanisme, partikel yang dapat digunakan berupa partikel tunggal yang dimodifikasi seperti CNC maupun partikel yang kombinasi seperti SPI/CHC dan ELA-NS. Selain itu, emulsi Pickering memiliki ukuran droplet yang kecil berkisar 0,5-40 μm sehingga dapat dengan mudah berpenetrasi pada membran sel bakteri. Ukuran yang kecil tersebut mampu membawa minyak atsiri ke permukaan membran sel bakteri dengan mudah karena luas permukaan droplet menjadi besar yang mengakibatkan kontak antara komponen emulsi dan membran sel bakteri meningkat (24). Sehingga mengubah minyak atsiri kedalam bentuk emulsi Pickering dapat meningkatkan aktivitas antibakterinya.

D. Kesimpulan

Berdasarkan penelusuran pustaka yang telah dilakukan, maka diketahui beberapa jenis partikel yang dapat digunakan berasal dari polisakarida yaitu, TSNPs, CSNPs, WSNPs, SPSNPs, CNC, CNF dan yang berasal dari kombinasi polisakarida-protein yaitu LF/FD, SPICS, SPICHC, ZCP, ZC-CNC. Karakteristik partikel padat yang digunakan memiliki ukuran partikel 100-600 nm, memiliki potensial zeta 14-57 mV dan memiliki sudut kontak yang mendekati 90°. Selain itu, karakteristik dari emulsi Pickering memiliki ukuran droplet yang kecil dan lebih stabil sehingga dapat digunakan untuk menenkapsulasi minyak atsiri. Emulsi Pickering minyak atsiri secara umum mampu meningkatkan aktivitas antibakteri yang ditandai dengan menurunnya nilai KHM dan memiliki aktivitas antibakteri yang lebih efektif dibandingkan dengan minyak atsiri murni, walaupun terdapat literatur emulsi Pickering menunjukkan hasil yang kurang efektif. Hal tersebut dapat disebabkan karena berbagai faktor seperti karakteristik partikel padat yang kurang cocok dan faktor dari formulasi emulsi Pickering.

Acknowledge

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Bapak Aulia Fikri Hidayat, M.Si. dan Ibu apt. Sani Ega Priani, M.Si. selaku pembimbing yang telah banyak meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan selama proses penyusunan dan penulisan artikel ini.

Daftar Pustaka

- [1] Chlebicz, A., & Śliżewska, K. (2018). Campylobacteriosis, Salmonellosis, Yersiniosis, and Listeriosis as Zoonotic Foodborne Diseases: A Review. In *International Journal of Environmental Research and Public Health* (Vol. 15, Issue 5). <https://doi.org/10.3390/ijerph15050863>
- [2] Jiang, Y., Wang, D., Li, F., Li, D., & Huang, Q. (2020). Cinnamon essential oil Pickering emulsion stabilized by zein-pectin composite nanoparticles: Characterization, antimicrobial effect and advantages in storage application. *International Journal of Biological Macromolecules*, 148. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.10.103>
- [3] Cossu, A., Wang, M. S., Chaudhari, A., & Nitin, N. (2015). Antifungal activity against *Candida albicans* of starch Pickering emulsion with thymol or amphotericin B in suspension and calcium alginate films. *International Journal of Pharmaceutics*, 493(1–2). <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2015.07.065>
- [4] Dickinson, E. (2017). Biopolymer-based particles as stabilizing agents for emulsions and foams. *Food Hydrocolloids*, 68. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.06.024>
- [5] Lu, X., Weng, H., Li, C., He, J., Zhang, X., & Ma, Z. (2020). Efficacy of essential

- oil from *Mosla chinensis* Maxim. cv. Jiangxiangru and its three main components against insect pests. *Industrial Crops and Products*, 147. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112237>
- [6] Martins, E., Poncelet, D., Rodrigues, R. C., & Renard, D. (2017). Oil encapsulation techniques using alginate as encapsulating agent: applications and drawbacks. In *Journal of Microencapsulation* (Vol. 34, Issue 8). <https://doi.org/10.1080/02652048.2017.1403495>
 - [7] Ge, S., Xiong, L., Li, M., Liu, J., Yang, J., Chang, R., Liang, C., & Sun, Q. (2017). Characterizations of Pickering emulsions stabilized by starch nanoparticles: Influence of starch variety and particle size. *Food Chemistry*, 234. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.04.150>
 - [8] Souza, A. G. de, Ferreira, R. R., Aguilar, E. S. F., Zanata, L., & Rosa, D. dos S. (2021). Cinnamon Essential Oil Nanocellulose-Based Pickering Emulsions: Processing Parameters Effect on Their Formation, Stabilization, and Antimicrobial Activity. *Polysaccharides*, 2(3). <https://doi.org/10.3390/polysaccharides2030037>
 - [9] Xi, X., Wei, Z., Xu, Y., & Xue, C. (2023). Clove Essential Oil Pickering Emulsions Stabilized with Lactoferrin/Fucoidan Complexes: Stability and Rheological Properties. *Polymers*, 15(8). <https://doi.org/10.3390/polym15081820>
 - [10] Wu, Z., Yan, J., Zhou, Z., Xu, Q., Li, Q., Li, G., Li, X., Fang, X., & Zhong, Q. (2023). Preparation of Pickering emulsion of cinnamon essential oil using soybean protein isolate-chitosan particles as stabilizers. *Food Science and Technology (Brazil)*, 43. <https://doi.org/10.1590/fst.112522>
 - [11] Yu, S. J., Hu, S. M., Zhu, Y. Z., Zhou, S., Dong, S., & Zhou, T. (2023). Pickering emulsions stabilized by soybean protein isolate/chitosan hydrochloride complex and their applications in essential oil delivery. *International Journal of Biological Macromolecules*, 250. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.126146>
 - [12] Qin, W., Tang, S., Chen, C., & Xie, J. (2024). Preparation and characterization of cinnamon essential oil Pickering emulsion stabilized by zein/carboxylated cellulose nanocrystals composite nanoparticles. *Food Hydrocolloids*, 147. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.109321>
 - [13] Chen, L., Ao, F., Ge, X., & Shen, W. (2020). Food-grade Pickering emulsions: Preparation, stabilization and applications. In *Molecules* (Vol. 25, Issue 14). <https://doi.org/10.3390/molecules25143202>
 - [14] Pang, B., Liu, H., & Zhang, K. (2021). Recent progress on Pickering emulsions stabilized by polysaccharides-based micro/nanoparticles. In *Advances in Colloid and Interface Science* (Vol. 296). <https://doi.org/10.1016/j.cis.2021.102522>
 - [15] Cui, F., Zhao, S., Guan, X., McClements, D. J., Liu, X., Liu, F., & Ngai, T. (2021). Polysaccharide-based Pickering emulsions: Formation, stabilization and applications. In *Food Hydrocolloids* (Vol. 119). <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106812>
 - [16] Deng, W., Li, Y., Wu, L., & Chen, S. (2022). Pickering emulsions stabilized by polysaccharides particles and their applications: a review. In *Food Science and Technology (Brazil)* (Vol. 42). <https://doi.org/10.1590/fst.24722>
 - [17] Albert, C., Beladjine, M., Tsapis, N., Fattal, E., Agnely, F., & Huang, N. (2019). Pickering emulsions: Preparation processes, key parameters governing their properties and potential for pharmaceutical applications. In *Journal of Controlled Release* (Vol. 309). <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2019.07.003>

- [18] Schröder, A., Sprakel, J., Schroën, K., Spaen, J. N., & Berton-Carabin, C. C. (2018). Coalescence stability of Pickering emulsions produced with lipid particles: A microfluidic study. *Journal of Food Engineering*, 234. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.04.007>
- [19] Shin, J., Na, K., Shin, S., Seo, S. M., Youn, H. J., Park, I. K., & Hyun, J. (2019). Biological activity of thyme white essential oil stabilized by cellulose nanocrystals. *Biomolecules*, 9(12). <https://doi.org/10.3390/biom9120799>
- [20] Zhou, Y., Sun, S., Bei, W., Zahi, M. R., Yuan, Q., & Liang, H. (2018). Preparation and antimicrobial activity of oregano essential oil Pickering emulsion stabilized by cellulose nanocrystals. *International Journal of Biological Macromolecules*, 112. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.01.102>
- [21] Yu, H., Huang, G., Ma, Y., Liu, Y., Huang, X., Zheng, Q., Yue, P., & Yang, M. (2021). Cellulose nanocrystals based clove oil Pickering emulsion for enhanced antibacterial activity. *International Journal of Biological Macromolecules*, 170. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.12.027>
- [22] Su, X., Lai, H., Chen, S., Chen, H., Wang, X., Shen, B., & Yue, P. (2024). Raspberry-liked Pickering emulsions based inulin microparticles for enhanced antibacterial performance of essential oils. *International Journal of Biological Macromolecules*, 132224
- [23] Santos, P. H., Camani, P. H., Surek, M., de Souza, W. M., Setz, L. F. G., & dos Santos Rosa, D. (2024). Clove leaf essential oil Pickering emulsion stabilized by octenyl succinic anhydride modified waxy maize starch: an eco-friendly alternative. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 134540.
- [24] Wang, Y., Ai, C., Wang, H., Chen, C., Teng, H., Xiao, J., & Chen, L. (2023). Emulsion and its application in the food field: An update review. In *eFood* (Vol. 4, Issue 4). <https://doi.org/10.1002/efd2.102>
- [25] N. Karimah, Ratih Aryani, and Sani Ega Priani, “Studi Literatur Aktivitas Antibakteri Penyebab Jerawat dari Minyak Atsiri dan Formulasinya dalam Sediaan Mikroemulsi,” *J. Ris. Farm.*, vol. 1, no. 1, pp. 46–54, Oct. 2021, doi: 10.29313/jrf.v1i1.185.
- [26] Muhammad Sultan Ramadhan and Uci Ary Lantika, “Kajian Sediaan Orally Dissolving Film (ODF),” *J. Ris. Farm.*, pp. 89–96, 2022, doi: 10.29313/jrf.v2i2.1270.
- [27] S. A. dan Purnama and G. C. E. Darma, “Penerapan Metode Plasma Pijar Korona dalam Penyerapan Minyak Lemon (*Citrus limon* L Osbeck),” *J. Ris. Farm.*, pp. 15–23, 2022, doi: 10.29313/jrf.v2i1.695.