

Karakterisasi Fisikokimia dan Stabilitas Emulsi Pickering Menggunakan Tepung dan Pati Ganyong Termodifikasi *Dry-Heat* sebagai Emulsifier

Physicochemical Characterization and Stability of Pickering Emulsion Utilizing Dry-Heat Modified Ganyong Flour and Starch as Emulsifiers

Resti Restiana*, Yana Cahyana

Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Industri Pertanian, Universitas Padjadjaran, Jatinangor 45363, Indonesia

*E-mail: resti11003@mail.unpad.ac.id

Diterima: 17 Juni 2023; Disetujui: 18 September 2023

ABSTRAK

Ganyong sebagai sumber karbohidrat berbasis pangan lokal berpotensi sebagai partikel penstabil emulsi pickering. Sifat tepung dan pati ganyong yang ramah lingkungan berpotensi sebagai pickering. Pemanfaatan tepung dan pati ganyong sebagai pickering masih memiliki keterbatasan pada sifat fisikokimia dan stabilitas. Penelitian ini mengamati karakteristik fisikokimia dan kestabilan tepung serta pati ganyong termodifikasi dengan metode *dry heat* (DH). Pengamatan dilakukan terhadap potensial zeta, sudut kontak, distribusi ukuran, indeks emulsi, indeks creaming dan kemampuan mengikat minyak: tepung dan pati ganyong termodifikasi. Hasil menunjukkan partikel tepung dan pati ganyong termodifikasi dan alami cenderung mudah teragregasi dengan ukuran partikel 1,17-1,41 μm dengan keberagaman partikel. Tepung dan pati ganyong alami, dan termodifikasi tergolong hidrofilik sudut kontak kurang dari 90° . Tepung ganyong dengan modifikasi *dry heat*, dan alami berpotensi sebagai emulsi pickering.

Kata kunci: pemanasan kering; ganyong; karakteristik fisikokimia; pickering; kestabilan emulsi

ABSTRACT

Canna, a local carbohydrate source, holds promise as an emulsion stabilizer particle, specifically pickering emulsion. The environmentally friendly properties of ganyong flour and starch make them promising candidates for Pickering emulsifiers. The utilization of ganyong flour and starch as Pickering emulsifiers still faces limitations in terms of their physicochemical properties and stability. In this study, we examined the physicochemical characteristics and stability of ganyong flour and starch modified using the dry heat (DH) method. Zeta potential, contact angle, particle size distribution, emulsion index, creaming index, and oil binding ability, both modified canna flour and native canna starch. The findings indicated that the modified and native canna flour and starch particles exhibited a tendency to aggregate, with particle sizes ranging from 1.17 μm to 1.41 μm . Additionally, both natural and modified ganyong flour and starch were found to be hydrophilic, with contact angles less than 90°C . Thus, ganyong flour, both with dry heat modification and in its natural state, exhibits potential as Pickering emulsifier.

Keyword: dry heat; canna; physicochemical properties; pickering; emulsion stability

PENDAHULUAN

Emulsi merupakan sistem yang tidak stabil secara termodinamika dikarenakan sifat natural dari fase minyak dan air dimana kedua fase ini memiliki inkompatibilitas secara molekuler yang menyebabkan pemisahan antara dua fase, mengakibatkan pelepasan energi dari sistem dan membuat emulsi menjadi rusak (Ravera dkk. 2021). Umumnya, cara yang biasa digunakan untuk menstabilkan emulsi adalah dengan menambahkan emulsifier atau surfaktan. Penambahan surfaktan dalam sebuah emulsi ini dapat mengurangi tegangan antarmuka air dan minyak serta membentuk lapisan pelindung antar droplet sehingga dapat meningkatkan stabilitas kinetik dari emulsi tersebut (Cao dkk. 2021).

Walaupun begitu, penggunaan surfaktan sebagai penstabil emulsi, terutama surfaktan sintesis ini menimbulkan berbagai macam kekhawatiran akibat biodegradabilitasnya yang berpengaruh terhadap lingkungan serta kekhawatiran terhadap efek samping yang dapat ditimbulkan terhadap tubuh pada jangka waktu lama (Choi dkk. 2020). Selain itu, perkembangan metode lain untuk digunakan sebagai

penstabil sebuah emulsi, salah satunya adalah dengan menggunakan partikel padat.

Penggunaan partikel padat yang berukuran mikro hingga nano sebagai penstabil emulsi, atau yang biasa disebut dengan emulsi pickering, ini mengandalkan kemampuan partikel tersebut untuk teradsorpsi pada permukaan antara dua fase dalam emulsi sehingga membentuk lapisan pelindung dan mencegah terjadinya penggabungan droplet (Berton-Carabin & Schroën, 2015). Penggunaan partikel padat dianggap memiliki stabilitas yang lebih baik, toksisitas lebih rendah serta memiliki kemampuan permeabilitas yang dapat diatur, kompatibilitas yang lebih baik tanpa penambahan surfaktan, serta versatilitas yang lebih tinggi dalam kegunaannya di berbagai macam bidang (Deng dkk. 2022; Gonzalez Ortiz dkk. 2020; Wu & Ma 2016).

Sebuah partikel solid, baik yang berasal dari bahan organik maupun anorganik, dapat digunakan sebagai emulsifier dalam emulsi pickering apabila partikel tersebut memiliki kemampuan berikatan dengan fase minyak dan air, serta memiliki ukuran yang jauh lebih kecil dibandingkan dengan ukuran dropletnya (Albert dkk. 2019). Pickering lebih disukai dalam industri pangan karena sifatnya yang ramah

lingkungan dan tidak memiliki dampak kesehatan pada tubuh. Tepung atau granula pati merupakan salah satu partikel solid yang dapat digunakan sebagai emulsifier dalam emulsi pickering (Kierulf dkk. 2020). Sebagai salah satu sumber karbohidrat lokal Indonesia, gayong (tepung dan pati) dapat dimanfaatkan sebagai partikel solid atau pickering. Sumber pangan lokal tersebut dinilai lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan penggunaan polietilen glikol (PEG) dan polimetil-metakrilat (PMMA) yang dapat menimbulkan efek iritasi pada kulit, alergi, atrofi kulit, sensitif terhadap cahaya, serta memungkinkan untuk terjadinya kehilangan kelembaban pada kulit ketika digunakan sebagai penstabil untuk obat-obatan atau kosmetik (de Carvalho-Guimarães dkk. 2022; Rawal dkk. 2023; Yang dkk. 2017). Namun, penelitian eksplorasi sifat fisikokimia tepung dan pati ganyong sebagai pickering masih terbatas. Pati lain seperti beras, oat, gandum, dan jagung telah digunakan sebagai pickering dengan dilakukan modifikasi secara kimia (Yang dkk. 2017). Modifikasi pati alami dapat menghasilkan senyawa dengan amfifisilitas untuk mengikat kedua fase yang berbeda.

Tepung dan pati dari ganyong merupakan bahan pangan lokal yang bersifat *gluten-free* (Nugraheni, Lastariwati, & Purwanti, 2018). Seiring dengan kesadaran terhadap kesehatan, masyarakat semakin selektif terhadap produk pangan yang akan mereka konsumsi terutama berdasarkan khasiat dan kandungan nutrisi. Hal ini disebabkan karena peningkatan potensi serangan penyakit terkait gluten seperti penyakit *celiac*, alergi gluten, dan sensitivitas *gluten non-celiac* (Myhrstad dkk. 2021). Selain itu, ganyong juga memiliki kadar pati yang tinggi, yaitu sekitar 77% (Aprianita dkk. 2014). Modifikasi menggunakan metode *dry heat* (pendekatan fisik) dinilai lebih aman karena tidak menggunakan bahan kimia tambahan baik pada tepung maupun pati ganyong juga diharapkan dapat meningkatkan indeks emulsifikasi dari kedua bahan tersebut. Modifikasi dengan metode *dry heat* terbukti dapat meningkatkan indeks emulsifikasi pada partikel solid dari komoditas lain seperti kentang, ubi jalar, quinoa, barley, dll (Rayner dkk. 2012; Xiao dkk. 2020). Oleh sebab itu, perlu dilakukan observasi terhadap sifat fisikokimia tepung dan pati ganyong untuk memahami potensi sumber lokal di Indonesia sebagai pickering dengan modifikasi fisik.

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk memberikan gambaran mengenai kemampuan tepung dan pati ganyong sebagai emulsifier serta penstabil dalam sistem emulsi pickering, baik yang alami (*native*) maupun yang termodifikasi *dry heat*.

METODOLOGI

Alat dan Bahan

Tepung dan pati ganyong dibeli dari IELS Organic (Kabupaten Sleman, Indonesia). NaOH 95%, indikator BCG-MR, dan HCl ACS-grade dibeli dari Merck & Co Inc., New Jersey, USA). Bahan lain yang digunakan adalah Propil Paraben (Nipasol) dari Ueno Fine Chemical Industry, Ltd., Jepang, Parafin (white oil) dibeli dari Daqing Refinery, China, aquadest, buffer fosfat tablet (Dulbecco A) Oxoid, HCl 0,1 N, NaOH 0,2%.

Prosedur Penelitian

Modifikasi Metode Pemanasan Kering

Tepung dan pati ganyong masing-masing ditaruh ke dalam loyang lalu dimasukkan ke dalam oven bersuhu 120°C selama 150 menit. Tepung ganyong alami (TGN), pati ganyong alami (PGN), dan tepung ganyong termodifikasi *dry heat* (TGD), dan pati ganyong termodifikasi *dry heat* (PGD)

dikemas menggunakan plastik nilon serta gel silika dan disimpan di suhu ruang.

Pembuatan emulsi pickering

Pembuatan emulsi pickering menggunakan pati dan tepung ganyong mengacu pada penelitian (Li dkk., 2013) yang dimodifikasi. Rasio volume buffer dengan paraffin liquid yang digunakan adalah 1:1 dengan total volume 40 ml (20 ml aquades: 20 ml paraffin liquid), jumlah pati yang ditambahkan adalah 0,2 g/ml oil. Pertama-tama sejumlah pati didispersikan pada 20 ml buffer yang telah ditambahkan 0,02% propil paraben. Propil paraben digunakan sebagai pengawet. Kemudian, 20 ml paraffin liquid ditambahkan dan dihomogenisasi menggunakan homogenizer (DLAB Scientific Co., Ltd, China) dengan kecepatan 14.000 rpm selama 3 menit.

Analisis Proksimat

Analisis proksimat digunakan untuk mengkarakterisasi tepung dan pati ganyong (Tabel 1). Analisis kadar air dan abu dilakukan menggunakan metode gravimetri. Analisis kadar lemak dilakukan berdasarkan metode Sokletasi. Metode Kjeldahl digunakan untuk mengukur kadar protein. Kadar karbohidrat kemudian didapatkan *by difference*. Hasil analisis proksimat didapatkan sebagai berikut:

Tabel 1. Analisis Proksimat Tepung dan Pati Ganyong *Native*

Parameter Proksimat	Sampel (%)	
	TGN	PGN
Kadar Air	8.16	11.63
Kadar Abu	4.53	0.4
Kadar Lemak	0.51	1.25
Kadar Protein	3.46	0.02
Kadar Karbohidrat	83.33	86.69

Karakteristik Droplet Emulsi Pickering

Analisis Sudut Kontak

Pengukuran sudut kontak dilakukan mengacu dari metode (Li dkk. 2013) yang dimodifikasi. Sampel tepung/pati dan PVP ditimbang sebesar 1,4 g dan 0,1 g masing-masing. Tepung/pati dan PVP (Polivinyl pirrolidone) yang sudah ditimbang kemudian dihomogenkan. Campuran kemudian dikompakkan menggunakan Tablet Machine Single Punch Korsch dengan cetakan tablet berdiameter 13 mm. Kemudian dilakukan penetesan 5 µl akuades pada permukaan tablet di suhu ruang menggunakan mikropipet. Saat penetesan, dilakukan perekaman dengan kamera untuk diambil frame gambar droplet di 0,04 s dari rekaman untuk dihitung waktu dari mulai terbentuknya droplet hingga cairan droplet terserap seluruhnya. Kemudian sudut kontak dapat diukur menggunakan aplikasi ImageJ.

Analisis Potensial zeta

Pengukuran nilai potensial zeta mengikuti (Kierulf dkk., 2020; C. Li dkk., 2013) dengan modifikasi. Sebanyak 50 mg sampel didispersikan dalam 50 ml Aqua milipore (100 ppm) dan dihomogenkan. Nilai potensial zeta diukur menggunakan alat nanoPartica SZ-100V2 (Horiba Ltd., Jepang).

Analisis Distribusi ukuran partikel Metode Dynamic Light Scattering (DLS)

Distribusi ukuran partikel sampel diperoleh mengikuti (Lee & Park, 2020) dengan menggunakan Beckman Coulter LS 13 320 metode dynamic light scattering (Beckman Coulter, Inc., Fullerton, CA). Alat LS 13 320 dilengkapi dengan meja optik dan modul cairan universal untuk

mengukur distribusi ukuran partikel yang tersuspensi dalam air pada 20°C. Data yang ditampilkan merupakan rata-rata diameter ukuran partikel dan indeks keseragaman ukuran partikel (PI).

Sifat Kestabilan Emulsi Pickering Analisis Indeks Emulsifikasi

Pengukuran indeks emulsifikasi dilakukan mengacu pada (Kierulf dkk. 2020). Emulsi pickering dimasukkan ke dalam gelas ukur dan disimpan selama 2 minggu. Pengukuran dilakukan terhadap volume lapisan krim (VE) dan total volume emulsi (VT) pada hari ke-1, 2, 3, 7, dan 14. Indeks emulsifikasi kemudian dihitung mengikuti persamaan:

$$EI = \frac{V_E (ml)}{V_T (ml)} \quad (1)$$

Analisis Indeks Creaming

Pengukuran indeks creaming dilakukan berdasarkan metode McClements (McClements, 2015). Emulsi pickering dimasukkan ke dalam gelas ukur dan disimpan selama 2 minggu. Pengukuran dilakukan pada tinggi lapisan serum (minyak pada bagian atas lapisan krim) (H_L) dan tinggi total emulsi (H_E) pada hari ke-1, 2, 3, 7, dan 14. Indeks creaming kemudian dihitung dengan persamaan:

$$CI = \frac{H_L (cm)}{H_E (cm)} \quad (2)$$

Analisis Kapasitas Pengikatan Minyak

Pengukuran kapasitas pengikatan minyak dilakukan menggunakan metode (Nawaz dkk. 2020) yang dimodifikasi. Pertama, dilakukan penimbangan terhadap tabung sentrifugasi ukuran 50 ml. Kemudian dimasukkan tepung/pati ganyong sebanyak 1 gram ke dalam tabung sentrifugasi tersebut. Lalu, ditambahkan minyak parafin sebanyak 5 gram. Tabung sentrifugasi divortex selama 1 menit pada suhu ruang selama 1 jam. Tabung kemudian disentrifugasi pada kecepatan 3000 rpm selama 10 menit. Supernatan dipisahkan dan endapan beserta tabung sentrifugasi ditimbang untuk menghitung kapasitas pengikatan minyak dengan persamaan:

$$KPH (\%) = 100 \times [(W2 - W1)W0] \quad (3)$$

Dimana:

W0 = berat sampel (g)

W1 = berat tabung sentrifugasi + sampel (g)

W2 = berat tabung sentrifugasi + endapan (g)

Analisis statistik

Data yang disajikan merupakan rata-rata dan standar deviasi menggunakan *software Microsoft Excel*. Seluruh pengamatan dibaca sebanyak tiga kali pengulangan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Fisikokimia Droplet Emulsi Pickering Potensial Zeta

Potensial zeta adalah besarnya muatan atau potensial elektrostatis pada permukaan bahan yang menggambarkan kekuatan interaksi listrik antara bahan yang terdispersi. Zeta yang tinggi memiliki nilai positif menandakan partikel relatif memiliki resistensi agregasi partikel dan lebih stabil seiring waktu (Bhattacharjee, 2016; Juliantoni, Hajrin, & Subaidah, 2020; Nugroho & Sari, 2018). Suatu partikel dinyatakan memiliki kecenderungan stabil dan tidak mengalami agregasi jika memiliki potensial zeta kurang dari -30 mV atau lebih dari 30 mV ($-30 \text{ mV} < \zeta < 30 \text{ mV}$) (Kierulf dkk. 2020).

Potensial zeta dari seluruh perlakuan terkonfirmasi memiliki potensial antara -28 hingga -14 (Tabel 2). Secara jelas terlihat adanya modifikasi struktur molekul pati ganyong akibat pemanasan yang ditandai oleh menurunnya nilai potensial partikel. Hal ini mengkonfirmasi modifikasi pati gayong dengan metode *dry heat* dapat sedikit memperbaiki kecenderungan partikel untuk teragregasi. Bertambahnya nilai potensial negatif pada partikel setelah modifikasi diakibatkan meningkatnya gugus COO^- (Kierulf dkk. 2020). Namun, modifikasi *dry heat* (DH) pada tepung ganyong menunjukkan hasil yang sebaliknya, partikel tepung termodifikasi memiliki potensial yang lebih tinggi dibandingkan dengan tepung ganyong alami. Hal tersebut tidak sejalan dengan hasil yang ditemukan pada sampel pati, partikel tepung ganyong alami memiliki kecenderungan tidak teragregasi dibandingkan tepung ganyong termodifikasi, hal tersebut kemungkinan berkaitan dengan kandungan protein pada tepung ganyong alami. Fenomena tersebut hampir sama pada pickering berbahan tepung oat; kandungan protein pada tepung oat alami menghasilkan droplet yang lebih kecil dan stabil (Rawal dkk. 2023). Lebih lanjut, nilai potensial tersebut mengindikasikan *pickering* berbahan tepung dan pati ganyong dengan dan tanpa modifikasi memiliki kecenderungan untuk terjadinya agregasi dan kurang stabil.

Tabel 2. Karakteristik droplet emulsi pickering

Perlakuan	Parameter			
	Diameter rata-rata (μm)	Nilai Potensial Zeta (mV)	Sudut kontak (θ)	Indeks keseragaman
PGN	1,41±0,57	-16,77±2,51	44,00±2,65	0,32
PGD	1,41±0,58	-25,75±0,35	34,67±3,51	0,33
TGN	1,17±0,71	-26,35±2,47	45,33±3,21	0,51
TGD	1,32±0,80	-22,90±4,33	60,67±4,04	0,64

Sudut Kontak

Sudut kontak merupakan parameter yang dapat menandakan afinitas dari partikel solid. Partikel solid dengan sudut kontak semakin mendekati 0° maka akan memiliki sifat yang semakin hidrofilik, sementara jika nilai sudut kontak semakin mendekati 180°, maka akan semakin hidrofobik (van den Berg dkk. 2018; Destribats dkk. 2014). Hasil analisis menunjukkan bahwa pati maupun ganyong lebih bersifat hidrofilik melihat dari nilai sudut kontak yang lebih mendekati 0°, sedangkan tepung ganyong menunjukkan sudut kontak yang cenderung tinggi (θ mendekati 90°), namun tetap tergolong hidrofilik.

Agar partikel dapat menjadi penstabil emulsi pickering yang optimal, maka nilai sudut kontak harus mendekati 90° (Zhang dkk. 2021). Partikel solid dengan nilai sudut kontak mendekati 90° dapat mengikat kedua fase air dan minyak secara baik, berakibat pada meningkatnya stabilitas dari emulsi (Zhao dkk. 2019). Hasil analisis menunjukkan bahwa tepung dan pati ganyong bukanlah emulsi yang baik untuk digunakan dalam emulsi pickering, dikarenakan nilai sudut kontak yang mendekati 0°, kecuali pada sampel tepung ganyong termodifikasi.

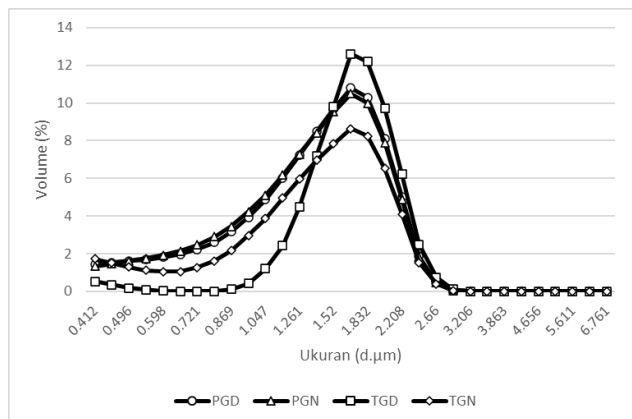
Hasil analisis juga menunjukkan bahwa perlakuan modifikasi DH terhadap tepung ganyong membuat tepung

menjadi lebih hidrofobik dibandingkan tepung ganyong *native*, dapat dilihat dari nilai sudut kontak yang meningkat. Hal ini sesuai dengan penelitian-penelitian lampau, perlakuan modifikasi DH dapat membantu meningkatkan stabilitas emulsi pickering dengan cara meningkatkan hidrofobisitas partikel (Choi dkk. 2020; Gong dkk. 2022). Peningkatan nilai sudut kontak tepung ganyong termodifikasi DH ini dapat diartikan bahwa kemampuan emulsifikasi dari tepung ganyong menjadi meningkat.

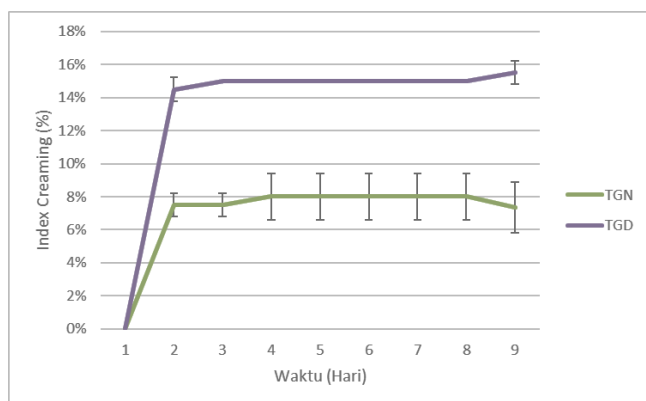
Walaupun begitu, perlakuan modifikasi DH pada pati ganyong tidak menghasilkan pati yang memiliki sifat lebih hidrofobik. Hal ini kemungkinan berhubungan dengan prinsip dari modifikasi metode DH itu sendiri. Modifikasi DH akan mengekspos grup hidrofobik dari protein, baik itu protein endogen maupun eksogen, berakibat pada meningkatnya hidrofobisitas pada pati (Zhu dkk. 2023). Tetapi, kadar protein pada pati ganyong sendiri sangat sedikit (0,02%) sehingga perlakuan DH tidak memberikan efek yang signifikan terhadap peningkatan hidrofobisitas pati.

Analisis Distribusi ukuran partikel

Analisis ukuran partikel berguna untuk melihat distribusi ukuran partikel dan keseragaman partikel dari sampel yang diujikan. Kedua parameter ini akan berguna untuk mengkarakterisasi kecocokan partikel padat yang akan digunakan sebagai emulsifier dalam emulsi pickering. Ukuran partikel yang lebih besar menandakan bahwa luas permukaan pada partikel menjadi lebih kecil, menyebabkan partikel menjadi lebih hidrofilik (Choi dkk. 2020). Ukuran partikel yang besar juga menandakan bahwa partikel tersebut kemungkinan besar tidak dapat menjadi emulsifier pickering yang baik (Ge dkk. 2017).



Gambar 1. Perbandingan distribusi ukuran partikel tepung dan pati ganyong native dan termodifikasi dry-heat



Gambar 2. Persentase Creaming Index (CI) pada perlakuan tepung ganyong selama 14 hari penyimpanan

Pengukuran distribusi ukuran partikel dari sampel pati dan tepung ganyong terlihat bahwa keempat sampel memiliki distribusi ukuran diameter lebih dari 1 µm (Gambar 1). Ukuran diameter dari pati ganyong terlihat lebih besar (1,4 µm) dibandingkan dengan tepung ganyong (1,1 – 1,3 µm), baik yang *native* maupun termodifikasi. Hal ini mengkonfirmasi tepung ganyong memiliki efektivitas yang lebih baik sebagai emulsifier dalam emulsi pickering dibanding pati ganyong. Semakin kecil ukuran partikel padatan maka akan meningkatkan efektivitasnya sebagai emulsifier (Yu dkk. 2019).

Analisis ukuran partikel juga memperlihatkan distribusi ukuran partikel tepung ganyong, baik yang alami maupun DH, lebih beragam dibandingkan dengan pati ganyong. Hal tersebut dibuktikan dengan indeks keseragaman atau *polydispersity index* (PI) kedua sampel tepung ganyong *native* dan DH memiliki nilai 0,51 dan 0,64. Sedangkan, untuk pati ganyong *native* dan termodifikasi memiliki PI yang lebih rendah sebesar 0,32 dan 0,33 secara berturut-turut. Hal ini mengindikasikan partikel pati ganyong sedikit lebih seragam dibandingkan tepung ganyong. Ukuran partikel yang beragam pada tepung ganyong kemungkinan akibat dari keberadaan komponen makro lain seperti protein dan karbohidrat lain seperti golongan hemiselulosa, selain itu, keberagaman *droplet* mampu meningkatkan kemampuan pickering mengikat fraksi minyak (Wang dkk. 2022).

Karakteristik Kestabilan Emulsi Pickering Indeks Creaming

Indeks creaming (CI) merupakan salah satu parameter penting untuk mengukur stabilitas penyimpanan emulsi pickering (Li dkk. 2019). Nilai CI ditentukan berdasarkan perbandingan antara volume krim dan sedimen terhadap volume total sampel emulsi (Konar dkk. 2019). Menurut (Salimi dkk. 2017) bahwa semakin rendah nilai CI maka stabilitas emulsi semakin tinggi. Rendahnya nilai CI menandakan terjadinya gumpalan lemak dalam keadaan tersuspensi (Datir dkk. 2021). Pengelompokan nilai CI diurutkan dari kategori sangat baik dengan nilai <10%, kategori baik dengan nilai 21%-30%, dan kategori buruk dengan nilai >30% (Ertugay, Şengül, & Şengül, 2004). Perilaku penstabil pada kedua fasa dapat diamati menggunakan indeks creaming, *droplet* minyak yang terdispersi akan terdorong ke atas akibat gaya elektrostatis pada pickering tertarik oleh fase air. Sehingga, terbentuknya lapisan minyak di atas permukaan suspensi (El Bouchikhi dkk. 2021). Berdasarkan percobaan yang telah dilakukan, menunjukan bahwa penggunaan pati ganyong tidak dapat membentuk emulsi sehingga nilai CI tidak dapat diukur. Nilai CI pada perlakuan tepung seperti TGN dan TGD mengalami peningkatan masing-masing sebesar 7,5% dan 14,5% dan relatif stabil hingga hari ke-14 (Gambar 2). Meskipun mengalami peningkatan, nilai CI pada perlakuan TGN masih tergolong dalam kategori sangat baik sedangkan perlakuan TGD tergolong dalam kategori baik.

Nilai CI dipengaruhi oleh ukuran partikel atau *droplet* serta kondisi pH pada bahan. Nilai pH yang asam dapat menyebabkan peningkatan nilai CI (Zhang dkk. 2020). Ukuran *droplet* yang besar mampu mempercepat pemisahan fase dan secara negatif mempengaruhi stabilitas emulsi dan berdampak pada CI yang lebih tinggi (Salimi, Javan, & Rostamzad, 2021). Berdasarkan analisis PSA (Particle Size Analysis) yang telah dilakukan (Gambar 1) menunjukan bahwa rata-rata ukuran partikel pada perlakuan TGN relatif lebih rendah dibandingkan TGD sehingga nilai CI yang diperoleh perlakuan TGN lebih rendah dibandingkan TGD. Hasil tersebut selaras dengan hasil penelitian (Li dkk. 2019) bahwa ukuran partikel yang lebih rendah dapat memberikan sifat pengemulsi yang lebih baik berdasarkan nilai IC yang

rendah (Sun dkk. 2022). Rendahnya ukuran partikel dapat meningkatkan luas permukaan serta ukuran yang lebih homogen sehingga meningkatkan densitas untuk mengurangi ukuran pori yang dapat menyebabkan kebocoran minyak (Rahn-Chique & Urbina-Villalba, 2017).

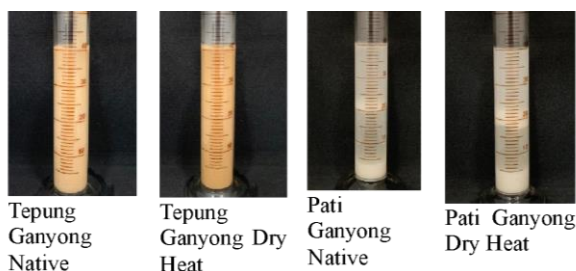
Modifikasi dengan perlakuan DH memicu peningkatan nilai CI pada tepung ganyong. Perlakuan DH menyebabkan reaksi Maillard dengan karakteristik perubahan warna produk menjadi relatif lebih coklat seperti pada Gambar 2. Pada kondisi yang tak terkendali, reaksi ini dapat memicu terjadinya oksidasi lipid yang dapat menyebabkan ketidakstabilan fisik emulsi akibat agregasi droplet minyak melalui mekanisme radikal bebas (Mosca dkk. 2013). Selain itu, reaksi Maillard dapat memicu peningkatan berat molekul serta ukuran partikel melalui proses *cross-linking* (Su dkk. 2011). Peningkatan ukuran partikel dapat menyebabkan densitas antar partikel berkurang dan memicu kerentanan terhadap kebocoran minyak (Rahn-Chique & Urbina-Villalba, 2017).

Indeks Emulsifikasi

Indeks emulsifikasi (EI) digunakan untuk mengukur stabilitas dan mengevaluasi sifat pengemulsi surfaktan berdasarkan volume emulsi yang dihasilkan (Xiao dkk. 2020). Stabilitas dari emulsi dapat digunakan untuk mengindikasikan aktivitas permukaan biosurfaktan meskipun kapasitas dari emulsifikasi bioproduct tidak terkait dengan kemampuannya dalam mengurangi tegangan permukaan (Campos dkk. 2015). Semakin rendah nilai EI maka dapat mengindikasikan bahwa stabilitas emulsi semakin rendah. Emulsi yang tidak stabil akan mengalami efek *creaming* dan *oiling* yang ditandai dengan pengembangan lapisan atas minyak bebas dan lapisan tengah emulsi yang terkoagulasi serta lapisan bawah yang menjadi keruh (Palazolo, Sobral, & Wagner, 2011).

Selama percobaan, penggunaan pati ganyong pada perlakuan PGN dan PGH tidak mampu menstabilkan droplet minyak sehingga tidak mengalami pembentukan emulsi. Pada Gambar 3, perlakuan PGN dan PGD menghasilkan larutan yang telah mengalami pemisahan dan tidak terbentuk emulsi sehingga tidak dapat dilakukan pengukuran EI.

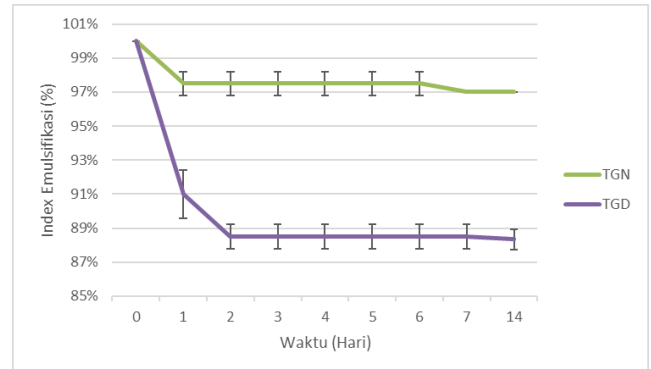
Selama penyimpanan, nilai EI pada perlakuan TGN dan TGD mengalami penurunan pada hari pertama (Gambar 4). Berbeda dengan perlakuan TGN, perlakuan TGD mengalami penurunan yang lebih besar atau sebesar 9% sedangkan perlakuan TGN mengalami penurunan sebesar 2,5%. Perlakuan TGD mengalami penurunan lebih lanjut pada hari ke-2 sebesar 2,5% kemudian nilai EI yang dihasilkan relatif stabil hingga hari ke-14. Sedangkan perlakuan TGN menghasilkan nilai EI yang stabil hingga hari ke-7 dan mengalami penurunan sebesar 0,17% pada hari ke-14.



Gambar 3. Emulsi yang terbentuk setelah proses homogenisasi

Penggunaan pati ganyong tidak mampu membentuk emulsi disebabkan karena rendahnya kandungan protein

sebagai pendukung dalam pembentukan emulsi. Keberadaan protein berperan dalam pembentukan emulsi minyak dalam air dan air dalam minyak. Selain itu, protein berperan dalam stabilitas emulsi dengan membentuk penghalang pelindung di sekitar droplet minyak yang mencegah penggabungan emulsi (Xie dkk. 2022; Zayas 1997).

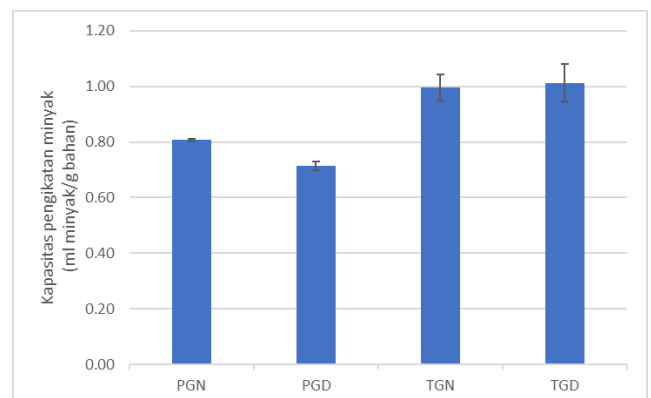


Gambar 4. Persentase *Emulsification Index* (EI) pada perlakuan tepung ganyong selama 14 hari penyimpanan

Nilai EI sangat berkaitan erat dengan ukuran partikel. Menurut penelitian (Saari dkk. 2019) menunjukkan bahwa ukuran partikel yang kecil dapat meningkatkan nilai EI. Tingginya nilai EI pada perlakuan TGN disebabkan karena ukuran partikel yang dimiliki relatif lebih kecil dibandingkan dengan perlakuan TGD. Hal tersebut dibuktikan dari hasil analisis PSA berdasarkan nilai rata-rata pada Gambar 1. Penurunan drastis pada perlakuan TGD disebabkan karena adanya reaksi Maillard setelah adanya modifikasi dengan perlakuan DH.

Kapasitas Pengikatan Minyak

Kapasitas pengikatan minyak (OBC) merupakan kemampuan struktur dalam menangkap sejumlah minyak cair setelah mendapatkan gaya secara eksternal (Flöter dkk. 2021). Semakin rapat atau *compact* suatu jaringan maka nilai OBC yang diperoleh semakin tinggi karena kecilnya pori-pori jalur bocornya minyak (Barroso dkk. 2022).



Gambar 5. Nilai Kapasitas pengikatan minyak (OBC) pada perlakuan tepung dan pati ganyong

Berdasarkan percobaan yang dilakukan bahwa sifat OBC pati ganyong PGN dan PGD memiliki nilai yang lebih rendah dibandingkan tepung ganyong (Gambar 5). Selain itu, respon pemanasan (*dry heat*) pada sampel memberikan respon yang berbeda. Pemberian perlakuan pemanasan pada sampel pati menyebabkan penurunan sifat OBC. Sedangkan

pemberian perlakuan pemanasan pada sampel tepung tidak memberikan dampak pada nilai OBC. Rendahnya nilai OBC pada perlakuan pati disebabkan karena kandungan protein yang rendah dibandingkan dengan perlakuan tepung. Protein memiliki sifat mengikat air dan minyak yang baik sehingga efektif dalam stabilitas emulsi (Isnaini dkk. 2021).

KESIMPULAN

Modifikasi DH berdampak pada potensial zeta, distribusi ukuran partikel, dan sudut kontak pada tepung dan pati ganyong. Adanya panas melalui modifikasi DH menunjukkan peningkatan potensial zeta diikuti meningkatkan sudut kontak dan keseragaman partikel pada tepung ganyong, sedangkan pada pati ganyong menurunkan potensial zeta dan sudut kontak. Ukuran partikel yang lebih kecil cenderung memberikan emulsi yang lebih stabil dengan ukuran partikel yang lebih beragam. Tepung ganyong termodifikasi memiliki potensi sebagai pickering yang lebih efektif dibandingkan pati ganyong termodifikasi sebagai penstabil emulsi *water in oil* pada makanan

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Universitas Padjadjaran dan Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia atas dukungan fasilitas yang diberikan.

DAFTAR PUSTAKA

- 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. *Journal of Controlled Release*, 309, 302–332. <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2019.07.003>
- Aprianita, A., Vasiljevic, T., Bannikova, A., & Kasapis, S. (2014). Physicochemical properties of flours and starches derived from traditional Indonesian tubers and roots. *Journal of Food Science and Technology*, 51(12), 3669–3679. <https://doi.org/10.1007/s13197-012-0915-5>
- Barroso, N. G., Santos, M. A. S., Okuro, P. K., & Cunha, R. L. (2022). Composition and process approaches that underpin the mechanical properties of oleogels. *JAOCs, Journal of the American Oil Chemists' Society*, 99(11), 971–984. <https://doi.org/10.1002/aocs.12635>
- Berton-Carabin, C. C., & Schroën, K. (2015). Pickering Emulsions for Food Applications: Background, Trends, and Challenges. *Annual Review of Food Science and Technology*, 6(1), 263–297. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-081114-110822>
- Bhattacharjee, S. (2016). DLS and zeta potential - What they are and what they are not? *Journal of Controlled Release*, 235, 337–351. <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2016.06.017>
- Campos, J. M., Stamford, T. L. M., Rufino, R. D., Luna, J. M., Stamford, T. C. M., & Sarubbo, L. A. (2015). Formulation of mayonnaise with the addition of a bioemulsifier isolated from *Candida utilis*. *Toxicology Reports*, 2, 1164–1170. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2015.08.009>
- Cao, G., Du, T., Bai, Y., Yang, T., & Zuo, J. (2021). Effects of surfactant molecular structure on the stability of water in oil emulsion. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 196, 107695. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.petrol.2020.107695>
- Choi, H.-D., Hong, J. S., Pyo, S. min, Ko, E., Shin, H.-Y., & Kim, J.-Y. (2020). Starch nanoparticles produced via acidic dry heat treatment as a stabilizer for a Pickering emulsion: Influence of the physical properties of particles. *Carbohydrate Polymers*, 239, 116241. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116241>
- Datir, R. P., Ravindra, M. R., Manjunatha, M., & Sharma, M. (2021). Optimization of recombination of milk at different fat levels in a small volume universal disperser unit. *Journal of Food Science and Technology*, 58(4), 1389–1400. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04650-9>
- de Carvalho-Guimarães, F. B., Correa, K. L., de Souza, T. P., Rodríguez Amado, J. R., Ribeiro-Costa, R. M., & Silva-Júnior, J. O. C. (2022). A Review of Pickering Emulsions: Perspectives and Applications. *Pharmaceuticals*, 15(11), 1413. <https://doi.org/10.3390/ph15111413>
- Deng, W., Li, Y., Wu, L., & Chen, S. (2022). Pickering emulsions stabilized by polysaccharides particles and their applications: a review. *Food Science and Technology*, 42. <https://doi.org/10.1590/fst.24722>
- Destribats, M., Gineste, S., Laurichesse, E., Tanner, H., Leal-Calderon, F., Héroguez, V., & Schmitt, V. (2014). Pickering Emulsions: What Are the Main Parameters Determining the Emulsion Type and Interfacial Properties? *Langmuir*, 30(31), 9313–9326. <https://doi.org/10.1021/la501299u>
- El Bouchikhi, S., Pagès, P., Ibrahim, A., & Bensouda, Y. (2021). Creaming behavior prediction of argan oil in water emulsion stabilized by lacto-fermentation: creaming index. *BMC Biotechnology*, 21(1), 53. <https://doi.org/10.1186/s12896-021-00711-9>
- Ertugay, M. F., Şengül, M., & Şengül, M. (2004). Effect of ultrasound treatment on milk homogenisation and particle size distribution of fat. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 28(2), 303–308.
- Flöter, E., Wettlaufer, T., Conty, V., & Scharfe, M. (2021). Oleogels—their applicability and methods of characterization. *Molecules*, 26(6). <https://doi.org/10.3390/molecules26061673>
- Ge, S., Xiong, L., Li, M., Liu, J., Yang, J., Chang, R., ... Sun, Q. (2017). Characterizations of Pickering emulsions stabilized by starch nanoparticles: Influence of starch variety and particle size. *Food Chemistry*, 234, 339–347. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.04.150>
- Gong, H., Song, X., Zhang, J., Zhang, B., & Zhu, W. (2022). Effects of Dry Heat Treatment on Characteristics of Hydrophobically Modified Rice Starch and its Emulsification in Pickering Emulsion. *Starch - Stärke*, 74(1–2), 2100131. <https://doi.org/10.1002/star.202100131>
- Gonzalez Ortiz, D., Pochat-Bohatier, C., Cambedouzou, J., Bechelany, M., & Miele, P. (2020). Current Trends in Pickering Emulsions: Particle Morphology and Applications. *Engineering*, 6(4), 468–482. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eng.2019.08.017>
- Isnaini, L., Estiasih, T., Suseno, S. H., & Lestari, L. A. (2021). The role vegetable proteins to stabilize emulsion: A mini review. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 924(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/924/1/012036>
- Juliantoni, Y., Hajrin, W., & Subaidah, W. A. (2020). Nanoparticle Formula Optimization of Juwet Seeds Extract (*Syzygium cumini*) using Simplex Lattice Design Method. *Jurnal Biologi Tropis*, 20(3), 416–422.

- <https://doi.org/10.29303/jbt.v20i3.2124>
- Kierulf, A., Whaley, J., Liu, W., Enayati, M., Tan, C., Perez-Herrera, M., ... Abbaspourrad, A. (2020). Protein content of amaranth and quinoa starch plays a key role in their ability as Pickering emulsifiers. *Food Chemistry*, 315, 126246. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126246>
- Konar, N., Ozarda, O., Senocak, S., Unluturk, N. N., & Oba, S. (2019). Effects of Process Conditions on Citrus Beverage Emulsions' Creaming Index: RSM Approach. *ETP International Journal of Food Engineering*, 5(1), 22–27. <https://doi.org/10.18178/ijfe.5.1.22-27>
- Lee, H., & Park, I. (2020). The Influence of Starch Modification with Amylosucrase Treatment on Morphological Features. *Processes*, 8(11), 1409. <https://doi.org/10.3390/pr8111409>
- Li, C., Li, Y., Sun, P., & Yang, C. (2013). Pickering emulsions stabilized by native starch granules. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 431, 142–149. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2013.04.025>
- Li, S., Li, C., Yang, Y., He, X., Zhang, B., Fu, X., ... Huang, Q. (2019). Starch granules as Pickering emulsifiers: Role of octenylsuccinylation and particle size. *Food Chemistry*, 283, 437–444. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.01.020>
- McClements, D. J. (2015). *Food Emulsions*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b18868>
- Mosca, M., Cuomo, F., Lopez, F., & Ceglie, A. (2013). Role of emulsifier layer, antioxidants and radical initiators in the oxidation of olive oil-in-water emulsions. *Food Research International*, 50(1), 377–383. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.10.046>
- Myhrstad, M. C. W., Slydahl, M., Hellmann, M., Garnweidner-Holme, L., Lundin, K. E. A., Henriksen, C., & Telle-Hansen, V. H. (2021). Nutritional quality and costs of gluten-free products: A case-control study of food products on the norwegian marked. *Food and Nutrition Research*, 65(November 2020), 1–10. <https://doi.org/10.29219/fnr.v65.6121>
- Nawaz, H., Akbar, A., Andaleeb, H., Shah, M., Amjad, A., Mehmood, A., & Mannan, R. (2020). Microwave-Induced Modification in Physical and Functional Characteristics and Antioxidant Potential of Nelumbo nucifera Rhizome Starch. *Journal of Polymers and the Environment*. <https://doi.org/10.1007/s10924-020-01828-2>
- Nugraheni, M., Lastariwati, B., & Purwanti, S. (2018). *The Potential Of Gluten Free Flour Enriched With Resistant Starch Type 3 From Canna Edulis For The Management Profile Of Glucose, Lipids And Short Chain Fatty Acid In Healthy Mice*. 112(Iconhomecs 2017), 120–124. <https://doi.org/10.2991/iconhomecs-17.2018.29>
- Nugroho, B. H., & Sari, N. P. (2018). Fomulasi Self Nano Emulsifying Drug Delivery System (SNEDDS) Ekstrak Daun Karamunting (Rhodomyrtus tomentosa (Ait.) Hassk). *Jurnal Ilmiah Farmasi*, 14(1), 1–8. <https://doi.org/10.20885/jif.vol14.iss1.art1>
- Palazolo, G. G., Sobral, P. A., & Wagner, J. R. (2011). Freeze-thaw stability of oil-in-water emulsions prepared with native and thermally-denatured soybean isolates. *Food Hydrocolloids*, 25(3), 398–409. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2010.07.008>
- Rahn-Chique, K., & Urbina-Villalba, G. (2017). Dependence of emulsion stability on particle size: Relative importance of drop concentration and destabilization rate on the half lifetimes of O/W nanoemulsions. *Journal of Dispersion Science and Technology*, 38(2), 167–179. <https://doi.org/10.1080/01932691.2016.1149715>
- Ravera, F., Dziza, K., Santini, E., Cristofolini, L., & Liggieri, L. (2021). Emulsification and emulsion stability: The role of the interfacial properties. *Advances in Colloid and Interface Science*, 288, 102344. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2020.102344>
- Rawal, K., Annamalai, P. K., Bhandari, B., & Prakash, S. (2023). Oat flour as a novel stabiliser for designing plant-based Pickering emulsion. *Journal of Food Engineering*, 340, 111300. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2022.111300>
- Rayner, M., Timgren, A., Sjöö, M., & Dejmeck, P. (2012). Quinoa starch granules: a candidate for stabilising food-grade Pickering emulsions. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 92(9), 1841–1847. <https://doi.org/10.1002/jsfa.5610>
- Saari, H., Heravifar, K., Rayner, M., Wahlgren, M., & Sjöö, M. (2019). Preparation and Characterization of Starch Particles for Use in Pickering Emulsions. *Cereal Chemistry*, 93(2), 1–35.
- Salimi, A., Javan, A. J., & Rostamzad, H. (2021). Quality and Stability of Emulsions Made of Whey Protein , Soy Protein , Arabic Gum , and Maltodextrin. *J Nutr Fast Health*, 9(4), 312–320. <https://doi.org/10.22038/JNFH.2021>
- Salimi, A., Maghsoudlou, Y., Jafari, S. M., Mahounak, A. S., nejad, M. K., & Ziaifar, A. M. (2017). Stabilizing O/W Emulsions by Soy Protein Concentrate + Maltodextrin and Optimizing the Process by Using Response Surface Methodology. *Food Science and Technology*, 5(5), 97–105. <https://doi.org/10.13189/fst.2017.050501>
- Su, G., Cui, C., Ren, J., Yang, B., & Zhao, M. (2011). Effect of xylose on the molecular and particle size distribution of peanut hydrolysate in Maillard reaction system. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91(13), 2457–2462. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4487>
- Sun, H., Fan, J., Sun, H., Jiang, G., Meng, Y., Zeng, X., ... Liu, X. (2022). Study on Protein Structures of Eight Mung Bean Varieties and Freeze-Thaw Stability of Protein-Stabilized Emulsions. *Foods*, 11(21), 1–19. <https://doi.org/10.3390/foods11213343>
- van den Berg, M. E. H., Kuster, S., Windhab, E. J., Adamcik, J., Mezzenga, R., Geue, T., ... Fischer, P. (2018). Modifying the Contact Angle of Anisotropic Cellulose Nanocrystals: Effect on Interfacial Rheology and Structure. *Langmuir*, 34(37), 10932–10942. <https://doi.org/10.1021/acs.langmuir.8b00623>
- Wang, J., Zhang, K., Zhang, L., Song, Z., Shang, S., Liu, H., & Wang, D. (2022). Preparation and stabilization of Pickering emulsions by cationic cellulose nanocrystals synthesized from deep eutectic solvent. *International Journal of Biological Macromolecules*, 209, 1900–1913. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.04.164>
- Wu, J., & Ma, G.-H. (2016). Recent Studies of Pickering Emulsions: Particles Make the Difference. *Small*, 12(34), 4633–4648. <https://doi.org/10.1002/smll.201600877>
- Xiao, X. L., Yussof, N. S., Mat Lazim, A., & Uthumporn Utra. (2020). Modified tuber starches as potential stabilizer for food-grade Pickering emulsions. *Food Research*, 4(3), 753–763. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.4\(3\).351](https://doi.org/10.26656/fr.2017.4(3).351)
- Xie, Y., Liu, R., Zhang, C., Liu, D., & Han, J. (2022). Structural Characteristics and Emulsifying Properties of Soy Protein Isolate Glycated with Galacto-Oligosaccharides under High-Pressure

- Homogenization. *Foods*, 11(21).
<https://doi.org/10.3390/foods11213505>
- Yang, Y., Fang, Z., Chen, X., Zhang, W., Xie, Y., Chen, Y., ... Yuan, W. (2017). An Overview of Pickering Emulsions: Solid-Particle Materials, Classification, Morphology, and Applications . *Frontiers in Pharmacology* , Vol. 8. Retrieved from <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fphar.2017.00287>
- Yu, Z.-Y., Jiang, S.-W., Zheng, Z., Cao, X.-M., Hou, Z.-G., Xu, J.-J., ... Pan, L.-J. (2019). Preparation and properties of OSA-modified taro starches and their application for stabilizing Pickering emulsions. *International Journal of Biological Macromolecules*, 137, 277–285.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.06.230>
- Zayas, J. F. (1997). Emulsifying Properties of Proteins. In *Functionality of Proteins in Food*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Zhai, K., Pei, X., Wang, C., Deng, Y., Tan, Y., Bai, Y., ... Wang, P. (2019). Water-in-oil Pickering emulsion polymerization of N-isopropyl acrylamide using starch-based nanoparticles as emulsifier. *International Journal of Biological Macromolecules*, 131, 1032–1037. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.03.107>
- Zhang, L., Xiong, T., Wang, X.-F., Chen, D.-L., He, X.-D., Zhang, C., ... Qian, J.-Y. (2021). Pickering emulsifiers based on enzymatically modified quinoa starches: Preparation, microstructures, hydrophilic property and emulsifying property. *International Journal of Biological Macromolecules*, 190, 130–140.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.08.212>
- Zhang, T., Ding, M., Wang, X., & Zhong, J. (2020). Droplet and creaming stability of fish oil-loaded gelatin/surfactant-stabilized emulsions depends on both the adsorption ways of emulsifiers and the adjusted pH. *Food Science and Human Wellness*, 9(3), 280–288. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2020.04.002>
- Zhu, P., Du, X., Liu, C., Zhao, G., & Wang, M. (2023). Effects of pH during dry-heat preparation on the physicochemical and emulsifying properties of rice starch and whey protein isolate mixtures. *Food Hydrocolloids*, 140, 108614.
<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.108614>