

PENGARUH WAKTU SONIFIKASI TERHADAP NILAI FFA DAN DENSITAS MINYAK BEKATUL

Andi Arninda^{a,*}, Muh. Akmal Taufiq^a, Herlina Rahim^a, Nuramaniyah Taufiq^b, Leny Irawati^c

^aProgram Studi Teknik Kimia Mineral, Politeknik ATI Makassar
Jl. Sunu No.220, Kota Makassar, 90211, Indonesia

^bJurusan Teknologi Laboratorium Medis, Universitas Mega Rezky
Jl. Antang Raya, Antang, Kec. Manggala, Kota Makassar, Sulawesi Selatan 90234, Indonesia

^cJurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Ujung Pandang
Jl. Politeknik, Tamalanrea Indah, Kec. Tamalanrea, Kota Makassar, Sulawesi Selatan 90245, Indonesia
*E-mail: arninda@atim.ac.id

Masuk Tanggal: 2 September, revisi tanggal: 26 November, diterima untuk diterbitkan tanggal: 20 Desember 2025

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh waktu sonikasi terhadap kadar asam lemak bebas (*Free Fatty Acid*/FFA) dan densitas minyak bekatul. Sampel bekatul diekstraksi menggunakan metode maserasi dengan etanol *food grade*, kemudian minyak hasil ekstraksi disonikasi pada frekuensi 42 kHz dengan variasi waktu 40, 50, dan 60 menit. Percobaan dilakukan sebanyak dua kali pengulangan pada pengujian kadar FFA dan nilai densitas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar FFA minyak bekatul meningkat signifikan pada sonikasi 40 menit (15,82%), namun menurun pada 50 menit (6,21%) dan 60 menit (1,13%). Penurunan nilai FFA tersebut disebabkan oleh efek panas dari kavitasasi ultrasonik yang dapat menyebabkan inaktivasi enzim lipase penyebab hidrolisis trigliserida. Nilai densitas minyak bekatul juga mengalami kenaikan bertahap dari 0,50 g/mL pada 40 dan 50 menit hingga 0,56 g/mL pada 60 menit, meskipun masih berada di bawah standar mutu minyak pangan (SNI 0,89 g/mL). Hasil ini menunjukkan bahwa waktu sonikasi berpengaruh terhadap nilai FFA dan densitas minyak bekatul.

Kata Kunci: Minyak bekatul, Waktu sonikasi, FFA, Densitas, Ekstraksi etanol

Abstract

This study aimed to investigate the effect of sonication time on the free fatty acid (FFA) content and density of rice bran oil. Rice bran samples were extracted using the maceration method with food-grade ethanol, and the extracted oil was subsequently sonicated at a frequency of 42 kHz with varying durations of 40, 50, and 60 minutes. Each experiment was conducted in duplicate for the determination of FFA levels and density values. The results demonstrated a significant increase in FFA content at 40 minutes of sonication (15.82%), followed by a decrease at 50 minutes (6.21%) and 60 minutes (1.13%). The reduction in FFA levels is attributed to the heat generated by ultrasonic cavitation, which can inactivate lipase enzymes responsible for triglyceride hydrolysis. The density of the rice bran oil exhibited a gradual increase from 0.50 g/mL at 40 and 50 minutes to 0.56 g/mL at 60 minutes, albeit remaining below the food-grade oil quality standard (SNI 0.89 g/mL). These findings indicate that sonication time significantly influences both the FFA content and density of rice bran oil.

Keywords: Rice bran oil, Sonication time, FFA, Density, Ethanol extraction

1. PENDAHULUAN

Padi merupakan komoditas pangan utama bagi masyarakat Indonesia yang termasuk dalam kelompok tanaman sereal dengan kandungan

karbohidrat yang tinggi. Seiring dengan pertumbuhan jumlah penduduk, produksi padi terus mengalami peningkatan untuk memenuhi kebutuhan konsumsi. Produk utamanya adalah

beras, yang diperoleh melalui proses penggilingan. Proses tersebut tidak hanya menghasilkan beras, tetapi juga produk samping, salah satunya adalah bekatul [1].

Berdasarkan data Badan Pusat Statistik Indonesia, produksi padi pada tahun 2020 diperkirakan mencapai 55,16 juta ton gabah kering giling (GKG). Proses penggilingan padi umumnya menghasilkan sekitar 70% beras, 20% sekam, serta 8–10% bekatul. Komoditas bekatul memiliki potensi pemanfaatan yang luas, baik sebagai bahan baku dalam industri pangan, kosmetik, suplemen kesehatan, maupun pakan ternak [2] [3].

Pemanfaatan bekatul (*rice bran*) sebagai bahan baku minyak bekatul kian strategis karena kandungan minyaknya tinggi (± 10 –26% dari bobot bekatul) dan komposisinya kaya asam lemak tak jenuh serta komponen bioaktif (γ -oryzanol, tokoferol/tokotrienol), senyawa fenolik, antosianin yang bernilai fungsional dan komersial [4] [5] [6]. Minyak bekatul memiliki nilai gizi tinggi dan manfaat kesehatan yang signifikan, karena mengandung asam oleat 36–58%, linoleat 35–38% dan α -linoleat 1.8–2.4%, serta asam lemak jenuh seperti asam palmitat 21–25% dan stearat 2.7–3.0% [7].

Minyak bekatul diperoleh melalui proses ekstraksi dengan menggunakan pelarut yang sesuai. Kandungan antioksidan dalam minyak bekatul bervariasi, dipengaruhi oleh metode ekstraksi, jenis pelarut, suhu, serta rasio antara bekatul dan pelarut. Proses ekstraksi minyak memegang peranan penting dalam menentukan kualitas minyak yang dihasilkan. Berbagai penelitian sebelumnya telah membuktikan bahwa metode ekstraksi dapat menentukan jumlah antioksidan yang terkandung dalam minyak bekatul [6].

Minyak bekatul dapat diperoleh melalui berbagai metode ekstraksi, antara lain *liquid phase extraction*, *solid phase extraction* (SPE), *supercritical fluid extraction*, ekstraksi langsung dengan pelarut, serta metode *cold pressed*. Minyak bekatul yang dihasilkan melalui metode *cold pressed* dikenal sebagai sumber alami yang kaya akan senyawa bioaktif dengan manfaat kesehatan [8].

Etanol merupakan pelarut yang umum digunakan dalam proses ekstraksi bahan pangan karena memiliki karakteristik yang relatif non-toksik, mudah diperoleh dari sumber terbarukan, serta ramah lingkungan, memiliki kemampuan efektif dalam mengekstraksi senyawa bioaktif.. Pada minyak bekatul padi, fraksi senyawa yang diekstraksi dengan etanol umumnya lebih dominan pada komponen polar dibandingkan

dengan komponen non-polar. Hal ini menjadikan etanol sebagai pelarut yang sesuai untuk memperoleh kandungan bioaktif, dari minyak bekatul [9].

Sonifikasi atau ekstraksi berbasis gelombang ultrasonik merupakan teknik modern yang mulai banyak diterapkan karena mampu meningkatkan efisiensi ekstraksi dengan waktu dan pelarut yang lebih sedikit, serta dapat bekerja pada suhu rendah dan menjaga stabilitas senyawa bioaktif yang bersifat termolabil atau mudah rusak oleh panas [10] [11]. Metode sonikasi merupakan metode alternatif yang digunakan untuk meningkatkan efisiensi proses ekstraksi, dengan menggunakan gelombang ultrasonik yang beroperasi pada rentang frekuensi sekitar 18 kHz hingga 100 MHz [12]. Prinsip utamanya dengan memanfaatkan gelombang ultrasonik berfrekuensi tinggi yang menghasilkan fenomena kavitasi akustik. Kavitasi akustik terjadi ketika gelembung-gelembung mikro terbentuk, tumbuh, dan kemudian pecah secara cepat di dalam medium cair. Ledakan gelembung tersebut menimbulkan gaya geser, turbulensi, serta peningkatan tekanan dan suhu lokal secara singkat, memperluas kontak antara pelarut dengan matriks bahan, sehingga senyawa aktif dapat diperoleh dengan waktu yang lebih singkat dengan suhu yang rendah dan penggunaan pelarut yang sedikit [13].

Namun, bekatul sangat rentan aktivitas lipase endogen yang dengan cepat menghidrolisis trigliserida menjadi asam lemak bebas (FFA) sehingga mutu minyak menurun, memperberat pemurnian, dan menurunkan stabilitas oksidatif. Oleh karena itu, tahap stabilisasi dan kondisi proses ekstraksi, termasuk sonifikasi menjadi penentu kualitas akhir minyak bekatul [10]. Penelitian yang dilakukan oleh [14] menunjukkan bahwa ultrasonik dapat meningkatkan efisiensi reaksi enzimatis, namun pada waktu yang lebih lama dapat menyebabkan inaktivasi enzim. Studi review komprehensif yang dilakukan oleh [15] tentang aplikasi ultrasonik pada ekstraksi minyak, termasuk pengaruhnya terhadap komposisi asam lemak, stabilitas oksidatif, dan sifat fisikokimia minyak menunjukkan bahwa ultrasonik dapat mempengaruhi aktivitas enzim lipase dan kualitas minyak, serta memberikan gambaran tentang mekanisme kavitasi dan efeknya terhadap inaktivasi enzim

Pada parameter FFA, metode ekstraksi menunjukkan bahwa ekstraksi berbantuan ultrasonik dapat menghasilkan mutu yang berbeda secara nyata dibanding metode konvensional (heksana), termasuk pada nilai FFA dan peroksida. Hal ini menunjukkan bahwa pengaturan kondisi ultrasonik termasuk durasi/waktu dapat

memengaruhi tingkat hidrolisis/oksidasi selama proses. Di sisi lain, studi stabilisasi bekatul dengan optimasi ultrasonik pada minyak bekatul melaporkan FFA akhir yang rendah ketika bahan baku distabilkan baik sebelum ekstraksi, menandakan bahwa efek sonifikasi terhadap FFA juga dipengaruhi kondisi awal dan rancangan proses [16] [17]. Efisiensi ekstraksi dengan sonikasi ditentukan oleh beberapa faktor, antara lain ukuran partikel, suhu, lama waktu ekstraksi, jenis pelarut, serta intensitas pengadukan [6].

Untuk nilai densitas, pada literatur minyak pangan menunjukkan bahwa ultrasonik umumnya tidak mengubah sifat volumetrik dasar secara signifikan dalam rentang proses yang wajar; Selain itu, hubungan fisis antara kecepatan rambat ultrasonik dan densitas minyak dapat dimanfaatkan untuk memantau perubahan kecil pada densitas selama proses. Dengan demikian, jika terjadi perubahan densitas akibat sonifikasi, besarnya diperkirakan kecil dan sangat bergantung pada durasi/paparan serta kenaikan suhu lokal akibat kavitasi. Ini memperkuat urgensi meneliti pengaruh waktu sonifikasi secara sistematis terhadap densitas minyak bekatul [18] [19].

Walaupun beberapa studi telah meneliti pengaruh sonikasi terhadap kualitas minyak bekatul, penelitian yang secara spesifik meneliti pengaruh waktu sonikasi terhadap kadar asam lemak bebas (FFA) dan densitas minyak masih terbatas dan hasilnya bervariasi. Sebagian besar penelitian sebelumnya lebih fokus pada peningkatan rendemen dan aktivitas antioksidan, bukan pada mekanisme inaktivasi enzim lipase secara spesifik. Oleh karena itu, perlu dikaji secara mendalam bagaimana durasi sonikasi dapat mempengaruhi aktivitas enzim lipase yang secara alami terdapat dalam bekatul dan, akibatnya, mempengaruhi kualitas minyak yang dihasilkan.

Tujuan penelitian ini yaitu untuk mengetahui bagaimana pengaruh waktu sonikasi terhadap kadar asam lemak bebas dan densitas dari ekstrak minyak bekatul yang dihasilkan dengan memanfaatkan sonikasi pada frekuensi 42 kHz dengan rentang waktu 40 – 60 menit.

2. PROSEDUR PERCOBAAN

Penelitian ini dilakukan melalui 2 tahapan proses, yaitu ekstraksi minyak bekatul, sonikasi pada minyak bekatul. Kadar asam lemak bebas (FFA) dan densitas minyak diukur untuk mengetahui nilai tersebut pada minyak yang dihasilkan setelah disonikasi.

2.1. Ekstraksi minyak bekatul

Sampel bekatul atau dedak padi terlebih dahulu disaring untuk memisahkan bekatul dari kotoran yang terikut ketika proses penggilingan padi. Sampel dipanaskan dalam oven UN 30 pada suhu 110°C selama 15 menit, pemanasan dilakukan untuk mengurangi kadar air yang terdapat dalam sampel.

Sampel bekatul yang telah di oven kemudian diekstraksi dengan menggunakan alkohol *food grade* dengan metode maserasi. Pada proses ini, sampel ditimbang sebanyak $\pm 800\text{g}$, kemudian ditambahkan alkohol *food grade* hingga seluruh sampel terbasahi dengan alkohol. Sampel tersebut kemudian ditutup rapat dengan menggunakan aluminium foil, dan didiamkan selama 12 jam.

Setelah 12 jam, sampel disaring untuk memisahkan minyak hasil ekstraksi dan ampas bekatul. Minyak bekatul yang diperoleh kemudian disimpan untuk kemudian dilakukan sonikasi dan pengujian nilai FFA dan nilai densitasnya.

2.2. Proses sonifikasi minyak bekatul

Minyak bekatul hasil ekstraksi yang diperoleh, disonikasi menggunakan *Digital Ultrasonic Cleaner* pada frekuensi 42 kHz dengan suhu 40°C (dengan menggunakan kontrol suhu pada alat *ultrasonic*), dengan variasi waktu 40, 50 dan 60 menit. Setiap variasi waktu sonikasi dilakukan sebanyak dua kali ulangan untuk memastikan keakuratan dan konsistensi hasil. Proses pengulangan dilakukan dua kali akibat keterbatasan sampel yang diperoleh, dimana pada proses maserasi, pelarut banyak menguap sehingga hasil yang diperoleh tidak banyak. Selanjutnya, minyak bekatul hasil sonikasi tersebut dianalisis kadar FFA dan densitasnya.

2.3 Pengujian kadar FFA dan densitas

Minyak bekatul hasil sonikasi pada variasi waktu 40 menit ditimbang sebanyak 3 g, kemudian ditambahkan etanol 95% sebanyak 25 mL, lalu dihomogenkan hingga minyak bekatul larut sempurna. Kemudian larutan tersebut ditambahkan indikator PP, dan dititrasi dengan menggunakan larutan NaOH 0,1 N hingga terjadi perubahan warna larutan menjadi pink seulas. Larutan NaOH yang digunakan kemudian dicatat jumlahnya, dan dihitung nilai kadar FFA dalam sampel. Perlakuan yang sama dilakukan untuk variasi waktu sonikasi 50 dan 60 menit.

Pengukuran FFA dilakukan melalui titrasi asam-basa menggunakan larutan NaOH 0,1 N dengan indikator fenoltalein. Perhitungannya menggunakan Persamaan (1) [20].

$$\%FFA = \frac{V \times N \times 28,2}{W} \times 100 \quad (1)$$

Dimana, V adalah volume NaOH yang digunakan untuk titrasi (mL), N adalah normalitas larutan NaOH, 28,2 adalah berat ekuivalen asam oleat (g/mol), W adalah massa sampel minyak (g).

Nilai densitas minyak juga diukur dengan menggunakan piknometer, dimana minyak bekatul hasil sonikasi pada variasi waktu 40 menit dimasukkan ke dalam piknometer untuk mengetahui beratnya, kemudian dilakukan perhitungan densitas minyak dengan memperhatikan densitas dari air pada suhu tertentu. Perlakuan yang sama dilakukan untuk variasi waktu sonikasi 50 dan 60 menit.

Pengukuran densitas menggunakan piknometer berdasarkan metode standar [SNI 0610-1998] disajikan pada Persamaan (2).

$$\rho = \frac{W_3 - W_1}{W_2 - W_1} \times \rho_{air} \quad (2)$$

Dimana W_1 adalah massa piknometer kosong (g), W_2 adalah massa piknometer berisi air murni pada suhu pengujian (g), W_3 adalah massa piknometer berisi sampel minyak (g), ρ_{air} adalah densitas air pada suhu pengujian (g/mL), diperoleh dari tabel literatur.

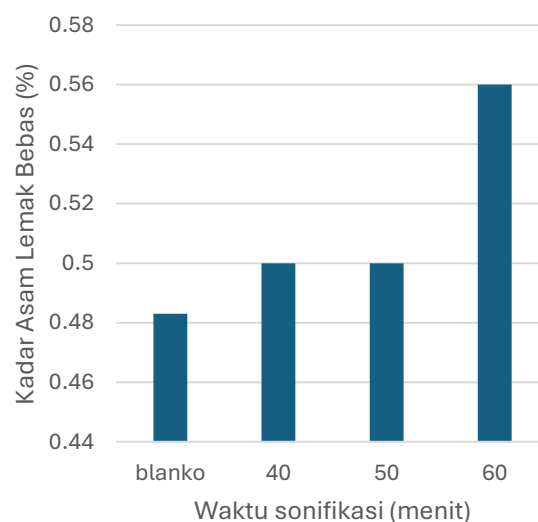
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil penelitian yang dilakukan dapat diketahui nilai FFA dan densitas minyak bekatul seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil analisis FFA dan densitas minyak bekatul

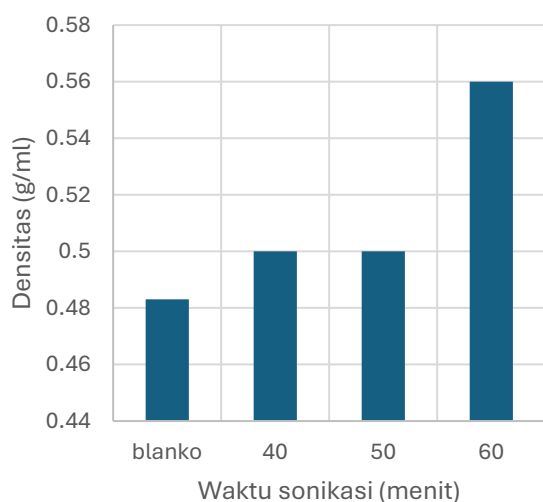
Parameter Uji	Waktu sonikasi (menit)				SNI 01610-1998-A
	Blanko (0)	40	50	60	
FFA (%)	1,03	15,82	6,21	1,13	34,49-49,76
Densitas (g/mL)	0,483	0,5	0,5	0,56	0,89

Pengujian kadar asam lemak bebas (*Free Fatty Acid/FFA*) merupakan salah satu metode analisis kualitas minyak goreng yang berfungsi untuk mengetahui jumlah asam lemak bebas yang terbentuk akibat reaksi hidrolisis trigliserida [20]. Peningkatan kadar FFA menandakan terjadinya degradasi minyak sehingga mutu minyak mengalami penurunan. Semakin tinggi kadar FFA, semakin rendah kualitas minyak, sedangkan kadar FFA yang rendah mengindikasikan minyak dengan kualitas yang baik [20] [21]. Kandungan FFA yang tinggi dalam minyak apabila dikonsumsi dapat menimbulkan rasa tidak nyaman pada tenggorokan, misalnya sensasi gatal atau iritasi [22].



Gambar 1. Pengaruh waktu sonikasi terhadap nilai FFA

Dari hasil penelitian yang dilakukan terlihat nilai kadar FFA minyak bekatul (tabel 1 dan gambar 1) mengalami kenaikan pada waktu sonikasi 40 menit, dan mengalami penurunan pada waktu sonikasi 50 dan 60 menit. Tingginya kadar FFA pada minyak bekatul dipengaruhi oleh aktivitas enzim lipase yang terdapat pada bekatul, dimana aktivitas dari enzim lipase akan terjadi pada proses penyimpanan, yang akhirnya akan meningkatkan kadar FFA dari minyak bekatul yang dihasilkan. Adapun terjadinya penurunan dari nilai FFA disebabkan oleh lamanya waktu sonikasi, dimana semakin lama waktu sonikasi akan mengakibatkan getaran yang timbul akan semakin besar, sehingga menimbulkan energi panas. Energi panas yang diakibatkan pada proses sonikasi akan mengakibatkan aktivitas enzim lipase berhenti, dan nilai FFA dari minyak bekatul juga menurun. Hal ini sejalan dengan penelitian [23] [24], dimana aktivitas enzim lipase dapat di non aktifkan dengan adanya pemanasan yang ditimbulkan dari kavitasi tersebut. Proses sonikasi menggunakan gelombang ultrasonik dapat menimbulkan efek kavitasi yang menghasilkan panas dan radikal bebas, sehingga dapat mempercepat reaksi oksidasi pada minyak, sehingga nilai FFA pada minyak mengalami kenaikan [25] [26].



Gambar 2. Pengaruh waktu sonikasi terhadap nilai densitas

Pengujian nilai densitas merupakan salah satu parameter kualitas minyak, dimana nilai densitas yang menurut SNI 0610-1998-A berkisar pada nilai 0,89. Dari data pada tabel 1 terlihat nilai densitas minyak bekatul mengalami kenaikan seiring lamanya waktu sonikasi, dimana nilai densitas tidak memiliki perbedaan nilai yang jauh pada waktu sonikasi 40, 50 dan 60 menit. Nilai densitas tersebut masih berada jauh di bawah nilai SNI standar, hal ini disebabkan efek perlakuan sonikasi dan kondisi eksternal yang berbeda, lama waktu sonikasi yang digunakan masih kurang, sehingga nilai densitas tidak mengalami kenaikan yang signifikan sesuai standar. Kenaikan suhu larutan akan meningkat dan mengakibatkan molekul mengalami dekomposisi sehingga nilai densitas minyak semakin bertambah [27]. Kenaikan nilai densitas yang tidak signifikan dapat diakibatkan karena adanya pengotor seperti fosfolida, *wax*, dan senyawa tidak tersaponifikasi ketika proses ekstraksi dilakukan. Kenaikan densitas bertahap mengikuti waktu sonikasi menunjukkan stabilisasi fisik produk [3].

Proses sonikasi dapat mempengaruhi struktur molekul minyak karena adanya efek kavitas yang menyebabkan degradasi senyawa atau perubahan komposisi asam lemak dan senyawa bioaktif lainnya. Ini dapat memengaruhi massa jenis atau densitas minyak, yang mungkin menjadi lebih rendah atau lebih tinggi dibanding standar, tergantung pada jenis perubahan kimia yang terjadi [10].

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini menunjukkan bahwa variasi waktu sonikasi pada frekuensi 42 kHz dan suhu 40°C secara signifikan mempengaruhi kadar asam lemak bebas (FFA) dan densitas minyak bekatul hasil ekstraksi. Hasilnya memperlihatkan

bahwa waktu sonikasi yang lebih lama (60 menit) dapat menurunkan kadar FFA dari 15,82% menjadi 1,13%, diduga akibat inaktivasi enzim lipase oleh efek panas kavitas ultrasonik. Selain itu, densitas minyak bekatul juga meningkat secara bertahap seiring penambahan waktu sonikasi, meskipun masih berada di bawah standar mutu minyak pangan nasional (SNI). Diharapkan kedepannya parameter sonikasi dapat bervariasi untuk mengetahui pengaruhnya terhadap kualitas dari minyak bekatul.

Metode sonikasi dapat diaplikasikan dalam industri pengolahan minyak bekatul untuk mengoptimalkan kualitas minyak dengan menurunkan kadar asam lemak bebas secara efektif tanpa penggunaan bahan kimia tambahan. Dengan pengaturan waktu dan suhu sonikasi yang tepat, proses ekstraksi bisa menjadi lebih efisien, menghemat energi, serta meningkatkan stabilitas dan umur simpan minyak bekatul

DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. Rifanti, *Aktivitas antioksidan ekstrak metanol dari bekatul beras merah (Oryza nivara L.) berdasarkan pada suhu dan waktu maserasi*. etheses.uin-malang.ac.id, 2023. [Daring]. Tersedia pada: <http://etheses.uin-malang.ac.id/id/eprint/58249>
- [2] A. Zaitun, *Pengaruh waktu stabilisasi bekatul dan waktu ekstraksi terhadap aktivitas antioksidan minyak bekatul*. etheses.uin-malang.ac.id, 2021. [Daring]. Tersedia pada: <http://etheses.uin-malang.ac.id/id/eprint/32806>
- [3] Suryati, A. Ismail, dan Afriyanti, "Proses pembuatan minyak dedak padi (rice bran oil) menggunakan metode ekstraksi," *J. Teknol. Kim. Unimal*, vol. 1, no. Mei, hal. 37–45, 2015, [Daring]. Tersedia pada: <http://ojs.unimal.ac.id/index.php/jtk/article/view/62>
- [4] T. Junyusen, N. Chatchavanthatri, P. Liplap, P. Junyusen, V. M. Phan, dan S. Nawong, "Effects of Extraction Processes on the Oxidative Stability, Bioactive Phytochemicals, and Antioxidant Activity of Crude Rice Bran Oil," *Foods*, vol. 11, no. 8, 2022, doi: 10.3390/foods11081143.
- [5] E. Ernawati dan A. R. Noviyanti, "Ekstraksi Dalam Kolom Unggun Tetap dan Pemurnian secara Simultan pada Isolasi Minyak Dedak Padi," *ReTII*, vol. 1–6, hal. 20–22, 2020.
- [6] A. Setiawan, E. D. A. Maulanni, dan E. Safitri, "Formulasi Sediaan Lip Balm Minyak Bekatul (Rice Bran Oil) Dan Uji

- Efektivitasnya Sebagai Pelembab Bibir,” *J. Med. Sains [J-MedSains]*, vol. 2, no. 1, hal. 20–35, 2022, doi: : <https://doi.org/10.30653/medsains.v2i1.143>.
- [7] F. Mas’ud dan Pabbenteng, “Rasio Bekatul Padi dengan Pelarut pada Ekstraksi Minyak Bekatul Padi,” *INTEK J. Penelit.*, vol. 3, no. 2, hal. 82–86, 2016, doi: 10.31963/intek.v3i2.56.
- [8] A. Setiawan, R. N. Damayanti, N. E. Mayangsari, dan M. Ari, “Sintesis dan Karakterisasi Biodiesel Dari Limbah Scum Susu Menggunakan Katalis Heterogen Cao Dari Cangkang Telur,” *Jurnal Dinamika Penelitian Industri*, vol. 33, no. 1, hal. 1–17, 2022.
- [9] F. Mas’ud, Fajar, H. Bangngalino, S. Indriati, A. Todingbua, Suhardi, dan M. Sayuti, “Model development to enhance teh solvent to extraction of rice bran oil,” *Oilseeds fats Crop. Lipids*, vol. 26, no. 16, 2019, doi: <https://doi.org/10.1051/ocl/2019009>.
- [10] I. Islami, *Ekstraksi Minyak Bekatul dengan Fraksinasi Pelarut menggunakan Metode Sonikasi dan Uji Aktivitas Antioksidannya*. ettheses.uin-malang.ac.id, 2021. [Daring]. Tersedia pada: <http://etheses.uin-malang.ac.id/id/eprint/32804>
- [11] N. Taufiq dan R. N. Fadlila, “Pembuatan Nano Partikel Kalsium (Ca) dari Limbah Tulang Ikan Patin (*Pangasius* sp) Menggunakan Metode Ultrasound-Assisted Solvent Extraction,” *Al-Kimia*, vol. 9, no. 1, hal. 9–15, 2021.
- [12] A. D. Dini dan F. R. E. Nurandriea, “Ekstraksi Zat Warna Alami Dari Kayu Secang (*Caesalpinia Sappan* Linn) Dengan Metode Ultrasound Assisted Extraction Untuk Aplikasi Produk Pangan.” 2017. [Daring]. Tersedia pada: <http://repository.its.ac.id/3528/>
- [13] M. Djaeni dan Y. Listyadevi, “Peningkatan Kecepatan Proses dan Mutu Minyak Bekatul melalui Proses Ekstraksi Berbantuan Ultrasonik,” *TEKNIK*, vol. 40, hal. 18, Jul 2019, doi: 10.14710/teknik.v39i3.22826.
- [14] S. R. Bansode dan V. K. Rathod, “An investigation of lipase catalysed sonochemical synthesis: A review,” *Ultrason. Sonochem.*, vol. 38, hal. 503–529, 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2017.02.028>.
- [15] R. C. N. Thilakarathna, L. F. Siow, T.-K. Tang, dan Y. Y. Lee, “A review on application of ultrasound and ultrasound assisted technology for seed oil extraction,” *J. Food Sci. Technol.*, vol. 60, no. 4, hal. 1222–1236, Apr 2023, doi: 10.1007/s13197-022-05359-7.
- [16] E. Mounika, D. D. Smith, E. Lingathoti, dan S. Raja, “Quality parameters of ultrasound assisted aqueous enzymatic extraction of rice bran oil,” *Int. J. Chem. Stud.*, vol. 8, hal. 1765–1768, Sep 2020, doi: 10.22271/chemi.2020.v8.i5x.10557.
- [17] D. Pranowo, T. D. Savira, dan Sukardi, “Rice Bran Stabilization Using Autoclave and Optimization of Crude Rice Bran Oil Recovery Using Ultrasound-Assisted Extraction,” *BioResouces*, vol. 18, no. 4, hal. 8341–8361, 2023, doi: 10.15376/biores.18.4.8341-8361.
- [18] M. Moghimi, V. Farzaneh, dan H. Bakhshabadi, “The effect of ultrasound pretreatment on some selected physicochemical properties of black cumin (*Nigella Sativa*),” *Nutrire*, vol. 43, no. 1, hal. 18, 2018, doi: 10.1186/s41110-018-0077-y.
- [19] J. Yan, W. M. D. Wright, J. A. O’Mahony, Y. Roos, E. Cuijpers, dan S. M. van Ruth, “A sound approach: Exploring a rapid and non-destructive ultrasonic pulse echo system for vegetable oils characterization,” *Food Res. Int.*, vol. 125, hal. 108552, 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108552>.
- [20] S. Ketaren, *Pengantar teknologi minyak dan lemak pangan*. Jakarta : UI Press, 1986.
- [21] S. Ketaren dan Suhardi, *Kimia dan Teknologi Minyak Nabati*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press, 2015.
- [22] F. G. Winarno, *Kimia pangan dan gizi*, Cet. 11. Jakarta : Gramedia, 2004.
- [23] A. Zaitun, “Pengaruh Waktu Stabilitas Bekatul dan Waktu Ekstraksi Terhadap Aktifitas Antioksidan Minyak Bekatul,” Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang, 2021.
- [24] I. Majid, G. A. Nayik, dan V. Nanda, “Ultrasonication and food technology: A review,” *Cogent Food Agric.*, vol. 1, no. 1, hal. 1071022, Des 2015, doi: 10.1080/23311932.2015.1071022.
- [25] K. Vca, S. Kuriakose, dan A. Rawson, “Ultrasound Assisted Extraction of Oil from Rice Bran: A Response Surface Methodology Approach,” vol. 6, no. 6, 2015, doi: 10.4172/2157-7110.1000454.

- [26] P. Loypimai, A. Moongngarm, K. Sittisuanjik, dan T. Wongsadee, "Enhancement of bioactive compounds and oxidation stability of soybean oil by enrichment with tocopherols and γ -oryzanol extracted from rice bran using ultrasound and ohmic heating," *J. Food Process. Preserv.*, vol. 46, no. 11, hal. e16991, Nov 2022, doi: <https://doi.org/10.1111/jfpp.16991>.
- [27] M. Ridha dan Darmianto, "Analisis Densitas, Porositas, dan Struktur Mikro Batu Apung Lombok dengan Variasi Lokasi menggunakan Metode Archimedes dan Software Image-J," *J. Fis. dan Apl.*, vol. 12, no. 3, hal. 124–130, 2016, doi: <http://dx.doi.org/10.12962%2Fj24604682.v12i3.1178>.