

Peningkatan Kualitas Minyak Dedak Padi melalui Metode Ekstraksi Berbantu Gelombang Ultrasonik dan Metode Adsorpsi

Riris Dian Rahmawati^{1*}, Mega Mustikaningum²

¹Progam Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Gresik, Jalan Sumatera No. 101 Gn Malang, Gresik, 61121, Indonesia

²Progam Studi Teknik Pengendalian Pencemaran Lingkungan, Politeknik Negeri Cilacap, Jalan Dr.Soetomo, Cilacap, 53215, Indonesia

Informasi Artikel

Kata kunci:

Minyak dedak padi
Ekstraksi ultrasonik
Adsorpsi
Zeolit
Asam lemak bebas

Abstrak

Dedak padi merupakan limbah penggilingan padi yang kaya minyak sekitar 17–22%, namun kurang dimanfaatkan dan umumnya menghasilkan kadar *Free Fatty Acid* (FFA) tinggi. Penelitian ini bertujuan mengekstraksi minyak dedak padi menggunakan *Ultrasound-Assisted Extraction* (UAE) sekaligus menurunkan FFA melalui metode adsorpsi dengan adsorben zeolit. Variabel proses yang dikaji meliputi rasio bahan:pelarut terhadap yield, suhu dan waktu ekstraksi terhadap studi kinetika dan energi aktivasi, serta massa adsorben terhadap kadar FFA. Kondisi optimum diperoleh pada rasio 1:5 dengan yield 5,85%, suhu 60 °C dan waktu 60 menit dengan yield 7,05%, serta massa adsorben 30% dari berat minyak dengan FFA akhir 1,26%. Proses mengikuti model kinetika *pseudo second order* ($R^2 = 0,969$) dengan konstanta laju 0,003 g/mg·menit dan energi aktivasi 8,51 kJ/mol. Metode UAE menunjukkan kelebihan berupa pelepasan minyak yang lebih cepat pada suhu rendah sehingga menekan pembentukan FFA, sedangkan adsorpsi zeolit efektif menghilangkan FFA residu melalui mekanisme pertukaran ion dan afinitas permukaan. FFA akhir memenuhi standar minyak kasar SNI 2901:2021 namun belum memenuhi standar minyak dedak padi pemurnian Codex CXS 210-1999. Penelitian ini menegaskan bahwa integrasi UAE–adsorpsi merupakan pendekatan yang efisien untuk meningkatkan kualitas dan nilai tambah minyak dedak padi.

Article Information

Keywords:

Rice bran oil
Ultrasonic extraction
Adsorption
Zeolite
Free Fatty Acid

Abstract

Rice bran is a milling by-product rich in oil (17–22%) but remains underutilized and typically contains high levels of Free Fatty Acids (FFA). This study aims to extract rice bran oil using Ultrasound-Assisted Extraction (UAE) while simultaneously reducing FFA through adsorption with activated zeolite. The investigated process variables include the material-to-solvent ratio on yield, extraction temperature and time on kinetic behavior and activation energy, and adsorbent mass on FFA reduction. The optimum conditions were obtained at a 1:5 ratio with a yield of 5.85%, an extraction temperature of 60 °C for 60 minutes with a yield of 7.05%, and an adsorbent mass of 30% of the oil weight resulting in a final FFA of 1.26%. The extraction followed a pseudo-second-order kinetic model ($R^2 = 0.969$) with a rate constant of 0.003 g/mg·min and an activation energy of 8.51 kJ/mol. UAE demonstrated advantages in accelerating oil release at relatively low temperatures, thereby minimizing FFA formation, while zeolite adsorption effectively removed residual FFA through ion-exchange and surface affinity mechanisms. The final FFA level met the crude oil quality requirements of SNI 2901:2021 but did not yet meet the refined rice bran oil standard of Codex CXS 210-1999. Overall, this study highlights that integrating UAE and adsorption provides an efficient approach to improving the quality and value of rice bran oil.

1. Pendahuluan

Padi adalah salah satu komoditas pertanian di Indonesia yang berperan signifikan dalam menjaga ketahanan pangan negara. Berdasarkan Data Badan Pusat Statistik, total produksi padi nasional mencapai 53,14 juta ton gabah kering giling pada tahun 2025 (Badan Pusat Statistik, 2025), melimpahnya

produksi padi turut menghasilkan hasil samping berupa dedak padi sekitar 10% dari berat gabah. Dedak padi biasanya dimanfaatkan sebagai pakan ternak, padahal mengandung 17–22% minyak dengan komponen senyawa seperti γ -oryzanol, tokoferol, dan tokotrienol yang berpotensi digunakan pada industri pangan, kosmetik, dan farmasi (Nasir et al., 2009).

*Afiliasi penulis korespondensi: Progam Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Gresik, Jalan Sumatera No. 101 Gn Malang, Gresik, 61121, Indonesia

Email: ririsdianrahmawati9764@gmail.com (Riris Dian Rahmawati)

<https://doi.org/10.61844/jtkm.v5i1.1285>

Submisi 12 November 2025; Revisi 6 Desember 2025; Diterima 12 Desember 2025

Publish online 23 Desember 2025

Penulis 2025, di bawah persyaratan lisensi [CC BY-NC-SA 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Minyak dedak padi biasanya diekstraksi dengan pelarut, namun metode konvensional kurang efisien. UAE dipilih karena kavitas ultrasonik mempercepat pelepasan minyak dan meningkatkan efisiensi ekstraksi (Thilakarathna et al., 2023). Gelombang ultrasonik pada UAE menghasilkan kavitas yang merusak struktur sel dedak dan mempercepat perpindahan massa, sehingga minyak lebih mudah dilepaskan dan lebih efektif larut dalam pelarut (Kaul et al., 2011). Efek fisik dan kimia pada UAE membuatnya lebih efektif daripada ekstraksi konvensional dalam hal kecepatan, efisiensi pelarut, dan rendemen. Namun, minyak dedak padi tetap menghadapi tantangan berupa tingginya kadar asam lemak bebas (FFA) yang menurunkan kualitas minyak. Beberapa penelitian terkait juga menyatakan bahwa minyak dedak padi kasar (*crude rice brain oil*) umumnya memiliki kadar asam lemak bebas (*Free Fatty Acid*) yang cukup tinggi mulai dari 10-40% (Putrawan et al., 2017), 7% (Haryono et al., 2021) sampai 47% yang diakibatkan oleh peningkatan aktivitas enzim lipase serta pengolahan yang kurang optimal (Nasir et al., 2009). Berdasarkan SNI 01-2901-2021, kadar FFA yang didekati dengan minyak CPO tidak boleh melebihi 5% (Badan Standarisasi Nasional, 2021), sedangkan untuk mutu minyak dedak padi hasil pemurnian dibandingkan dengan standar yang ditetapkan oleh *Codex Standard for rice brain oil* (CXS 210-1999) yang mengatur terkait mutu minyak dedak padi setelah pemurnian secara internasional dengan batas kadar FFA maksimal sekitar 0,3 (Mekouar, 2021). Ekstraksi minyak dedak padi umumnya menghasilkan FFA tinggi akibat aktivitas enzim lipase, dan meskipun UAE meningkatkan perolehan minyak, kadar FFA yang diperoleh masih belum memenuhi standar CXS 210-1999 maupun SNI 01-2901-2021. Oleh karena itu, diperlukan tahap pemurnian tambahan, salah satunya melalui adsorpsi menggunakan zeolit teraktivasi yang memiliki luas permukaan besar dan selektivitas tinggi terhadap molekul FFA. Integrasi proses UAE dengan adsorpsi zeolit menjadi langkah penting untuk menurunkan FFA sekaligus meningkatkan kualitas minyak, sehingga menawarkan pendekatan yang lebih komprehensif dalam pengolahan minyak dedak padi (Latief et al., 2023). Meskipun berbagai metode ekstraksi dan penurunan FFA telah banyak diteliti, kajian yang menilai pengaruh variabel UAE terhadap yield dan parameter kinetika, seperti konstanta kecepatan dan energi aktivasi, masih sangat terbatas. Penelitian mengenai variasi kondisi adsorpsi untuk menurunkan FFA minyak dedak padi juga jarang dilaporkan. Kondisi ini menunjukkan bahwa belum ada studi yang secara terpadu mengkaji penggabungan UAE dan adsorpsi serta dampaknya terhadap kuantitas, kinetika, dan kualitas minyak dedak padi.

Tujuan dari penelitian ini ialah (1) mengetahui pengaruh rasio massa bahan : volume pelarut terhadap yield minyak dedak padi, (2) mengetahui pengaruh suhu dan waktu ekstraksi terhadap yield minyak dedak padi, konstanta kecepatan ekstraksi dan energi aktivasi dan (3) mengetahui pengaruh massa adsorben terhadap kadar asam lemak bebas (FFA) minyak dedak padi,

Penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan nilai ekonomi dedak padi melalui optimalisasi pemanfaatannya sebagai minyak nabati, serta memberikan informasi mengenai pengaruh variabel proses terhadap yield, kinetika, dan kualitas minyak agar memenuhi standar.

2. Metode

2.1. Alat dan bahan

Pada penelitian ini, peralatan utama yang digunakan terdiri dari *ultrasonic cleaner bath*, serangkaian alat distilasi vakum, *furnace*, *magnetic stirrer*, dan serangkaian alat titrasi. Bahan baku yang digunakan pada penelitian ini ialah dedak padi yang berasal dari Tuban, dan pelarut etanol 96%, bahan yang digunakan sebagai adsorben yaitu zeolit, sedangkan untuk tahap pengujian kadar asam lemak bebas bahan yang dibutuhkan ialah NaOH 0,01 N, asam oksalat, indikator Phenolphthalein, etanol netral dan akuades.

2.2. Tahapan proses penelitian

Dedak padi diseragamkan ukurannya dengan ayakan ukuran 30 mesh, kemudian dilakukan pengujian kadar air dengan mengoven 5 g sampel dedak padi selama 1 jam pada suhu 100 °C. selanjutnya dilakukan proses stabilisasi untuk mendeaktivasi enzim lipase dalam dedak padi agar kadar FFA dalam dedak padi tidak bertambah selama penyimpanan, dengan cara mengovenya pada suhu 110 °C selama 15 menit. Ekstraksi minyak dedak padi dilakukan dengan gelombang ultrasonik menggunakan etanol 96% sebagai pelarut dengan rasio massa bahan : volume pelarut 1:3, 1:4, dan 1:5, rasio ini dipilih karena mengacu pada penelitian (Nasir et al., 2009), dengan satu nilai di bawah dan satu di atas kondisi optimum, sehingga diharapkan dapat membuktikan atau menemukan kembali rasio optimum yang baru, selanjutnya dilakukan proses ekstraksi pada suhu 60 °C selama 60 menit. Gelombang ultrasonik dioperasikan pada frekuensi 40 kHz dengan intensitas 10–12 W/cm². Kedalaman rendaman sampel diatur hingga melebihi batas tenggelamnya erlenmeyer yang berisi pelarut dan dedak, sehingga seluruh bagian erlenmeyer berada dalam zona kavitas aktif. Hasil ekstraksi disaring dan dimurnikan memakai serangkaian alat distilasi vakum dengan memanfaatkan perbedaan titik didih antara etanol (78 °C) dan minyak dedak padi (254 °C).

Zeolit digunakan sebagai adsorben dan diaktivasi secara fisika menggunakan furnace dengan pemanasan disuhu 400°C dengan waktu 3 jam karena suhu ini cukup tinggi untuk menghilangkan air terikat dan kotoran organik tanpa merusak struktur porinya. Aktivasi pada 400 °C juga umum digunakan dalam penelitian (Heriyanto et al., 2022) terbukti mampu meningkatkan luas permukaan serta jumlah situs aktif, sehingga daya serap zeolit terhadap FFA menjadi lebih optimal. Setelah itu, dilakukan aktivasi kimia dengan merendam zeolit menggunakan larutan asam fosfat (H₃PO₄) 20% selama 24 jam. Selanjutnya, zeolit dicuci dengan akuades sampai mencapai pH netral, kemudian zeolit dikeringkan dengan cara dioven di suhu 110°C selama 1 jam. Sebelum minyak dedak padi diadsorpsi, dilakukan pengujian kadar asam lemak bebas (FFA) dengan

metode *American Oil Chemist and Society* (AOCS) yang telah dimodifikasi (Rukunudin et al., 1998), dengan menggunakan larutan etanol netral 50 ml, indikator phenolftalein dan dilakukan titrasi dengan NaOH 0,001 N. Proses adsorpsi dilakukan terhadap 2 g minyak dengan menambahkan zeolit sebesar 10%, 20%, dan 30% dari massa minyak dengan suhu hotplate 115°C selama 150 menit menggunakan magnetic stirrer. Setelah zeolit dan minyak hasil adsorpsi disaring, dilakukan pengujian kembali untuk menentukan penurunan kadar FFA minyak setelah diadsorpsi.

2.3. Pengambilan Data Untuk Studi Kinetika

Pengambilan data kinetika dilakukan dengan cara ekstraksi yang sama menggunakan 40 g dedak padi dengan perbandingan massa bahan : volume pelarut 1:5, rasio tersebut dipilih karena merupakan kondisi optimum yang diperoleh dari percobaan variasi rasio sebelumnya, sehingga paling tepat digunakan untuk mengamati perilaku kinetika ekstraksi, namun yang membedakan ekstraksi dilakukan pada tiga variasi suhu berbeda yaitu suhu 40, 50, 60°C dan lima titik waktu yaitu waktu ke 0, 15, 30, 45, 60 menit. Dalam tahapan ini akan diperoleh Q_e berupa yield minyak dedak padi pada kondisi setimbang atau yield pada waktu terakhir dan Q_t berupa yield minyak dedak padi yang dihasilkan setiap lima titik waktu. Hasil sampel massa minyak dedak padi dihitung dengan Persamaan (1).

$$m \text{ akhir} = \rho \text{ minyak} \times \text{Volume} \quad (1)$$

Dimana m akhir adalah massa minyak dedak padi pada tahap akhir (g), ρ minyak adalah densitas atau kerapatan minyak yang didapatkan dari *safety data sheet* minyak dedak padi sebesar 0,94 g/ml, dan Volume adalah jumlah akhir minyak dedak padi yang dihasilkan (ml).

Hasil sampel yield minyak dedak padi dihitung dengan Persamaan (2).

$$\% \text{ minyak} = \frac{\text{massa minyak}}{\text{massa bahan baku}} \times 100\% \quad (2)$$

Dimana massa minyak merupakan massa akhir dari minyak dedak padi (g) dan massa bahan baku merupakan massa bahan yang digunakan dalam ekstraksi (g).

2.4. Pengujian Model Kinetika

Dalam penelitian ini, model kinetika reaksi yang diajukan didasarkan pada model *pseudo first order* dan *pseudo second order*. Persamaan kinetika pseudo orde pertama dapat dilihat pada Persamaan (3).

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1(q_e - q_t) \quad (3)$$

Dimana q_t ialah nilai yield ekstraksi maksimum pada saat t (mg/g), dan q_e ialah nilai yield ekstraksi pada saat setimbang (mg/g), k_1 (min^{-1}) ialah konstanta laju *pseudo first order*. Persamaan tersebut kemudian dilakukan pengintegralan dengan *boundary condition* $q_t=0$ pada $t=0$ dan $q_t=t$ pada $t=t$ sehingga menjadi Persamaan (4).

$$\ln \left[\frac{q}{q_e - q_t} \right] = k_1 t \quad (4)$$

Persamaan tersebut kemudian dapat disederhanakan kembali menjadi Persamaan (5).

$$\log(q_e - q_t) = \log q_e - \frac{k_1}{2.303} t \quad (5)$$

Model kedua yang digunakan ialah model *pseudo second order* (PSO) Berdasarkan penelitian (Muqorrobin & Mustikaningum, 2023). Persamaan kinetika ekstraksi untuk *pseudo second order* (PSO) dapat dituliskan berdasarkan Persamaan (6).

$$\frac{dq_t}{dt} = k_2(q_e - q_t)^2 \quad (6)$$

Dimana k_2 merupakan konstanta laju kinetika *pseudo second order* (PSO) (g/mg.menit). persamaan tersebut kemudian diintegrasikan dengan boundary condition $q_0=0$ pada $t=0$ dan $q_t=t$ pada $t=t$ sehingga menjadi Persamaan (7).

$$q = \frac{q_e^2 k_2 t}{1 + q_e k_2 t} \quad (7)$$

Untuk mempermudah perhitungan bentuk persamaan *pseudo second order* diubah ke bentuk linear menjadi persamaan. Untuk memverifikasi data penelitian ini maka digunakan model kinetika kedua yaitu model *pseudo second* yang terdapat pada Persamaan (8).

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} \quad (8)$$

2.5. Penentuan Energi Aktivasi

Penelitian ini juga mencari nilai dari energi aktivasi dalam proses ekstraksi minyak dedak padi menggunakan metode ultrasonik dengan menggunakan persamaan linearitas. Penentuan konstanta kecepatan reaksi diketahui dengan menggunakan Persamaan Arrhenius (9).

$$\ln k = \ln A - \left(\frac{E_a}{R} \right) \frac{1}{T} \quad (9)$$

Dimana k adalah konstanta kecepatan reaksi, nilai k diperoleh dari perbandingan nilai k_2 pada persamaan *pseudo second order* di suhu 50-60 °C, k_2 diperoleh dari hasil $\frac{1}{(\text{intersep} \times Q_e^2)}$, intersep didapatkan dari plot antara waktu (menit) dengan t/Q_t , A adalah konstanta Arrhenius (L/mols), E merupakan nilai energi aktivasi (J/mol), R adalah konstanta tetapan gas ideal (8,314 J/mol/K), dan T adalah suhu (K).

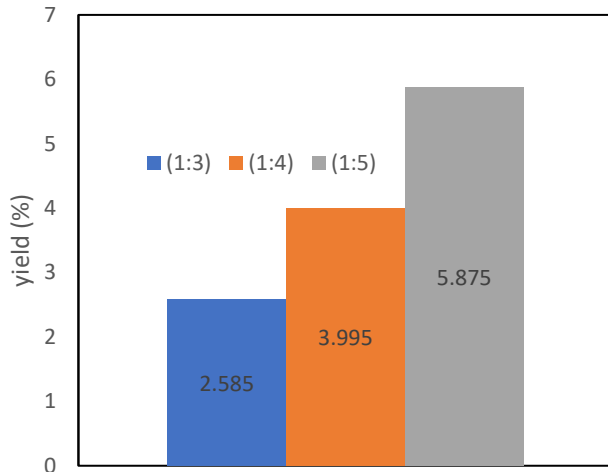
Dalam penelitian ini, pengulangan eksperimen tidak dilakukan pada seluruh sampel, tetapi difokuskan pada data yang menunjukkan berpotensi mengalami penyimpangan signifikan dari teori atau hasil percobaan lainnya. Pengulangan dilakukan apabila nilai yang diperoleh berbeda jauh dari tren data atau menunjukkan anomali yang dapat mengindikasikan ketidaktepatan pengukuran seperti pada pengaruh variabel suhu dengan waktu dan variabel massa adsorben yang memerlukan standar duplo dalam tahapan analisa FFA, kesalahan prosedur, atau gangguan pada alat. Langkah ini bertujuan untuk memastikan bahwa data yang digunakan dalam analisis adalah

akurat dan representatif, sehingga hasil penelitian tetap memiliki validitas yang kuat.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Pengaruh perbedaan rasio massa bahan : volume pelarut terhadap yield minyak dedak padi

Perolehan hasil ekstraksi minyak dedak padi dengan perbandingan rasio bahan:pelarut dapat dilihat pada Gambar 1.

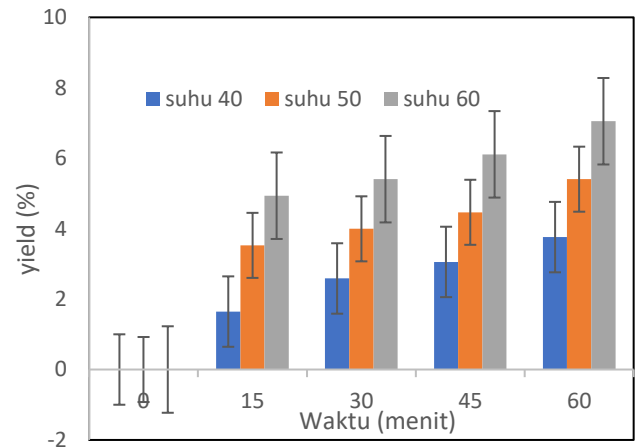


Gambar 1. Pengaruh rasio massa bahan : volume pelarut terhadap yield

Pada hasil penelitian, penggunaan rasio massa bahan : volume pelarut 1:3, 1:4, 1:5 terlihat perolehan yield minyak dedak padi yang dihasilkan semakin besar. Secara berturut turut yield yang dihasilkan sebanyak 2,585%; 3,995%; 5,875%. Peningkatan volume pelarut membantu memperluas area kontak antara bahan dan pelarut, sehingga pelarut dapat tersebar lebih merata dan proses difusi minyak berjalan lebih optimal. Jumlah pelarut yang lebih besar juga mencegah larutan cepat jenuh, sehingga pelarut masih mampu melarutkan minyak hingga mendekati kapasitas maksimalnya (Rifai et al., 2018). Namun, jika pelarut digunakan terlalu banyak, hasil ekstraksi tidak akan meningkat lagi. Pada titik itu, proses sudah tidak dibatasi oleh jumlah pelarut, melainkan oleh struktur dalam bahan padat itu sendiri yang membuat minyak tidak bisa keluar lebih cepat (Mega Mustikaningum & Anjarsari, 2023). Hasil penelitian ini sejalan dengan temuan (Mas'ud & Pabbenteng, 2016) pada ekstraksi biji alpukat menggunakan metode UAE, di mana rasio 1:15 memberikan yield tertinggi dibanding rasio 1:5 dan 1:10. Peningkatan rasio bahan:pelarut meningkatkan yield selama jumlah pelarut masih berada dalam batas optimal untuk melakukan perpindahan massa. Pada penelitian ini rasio 1:3 dan 1:4 g/mL menghasilkan yield lebih rendah karena volume pelarut belum cukup untuk melarutkan minyak secara optimal. Sebaliknya, rasio 1:5 g/mL memberikan hasil terbaik dengan yield 5,875% karena jumlah pelarut yang lebih banyak meningkatkan efisiensi ekstraksi.

3.2. Pengaruh Kondisi Operasi

Hasil ekstraksi minyak dedak padi dari perbedaan Gambar 2.



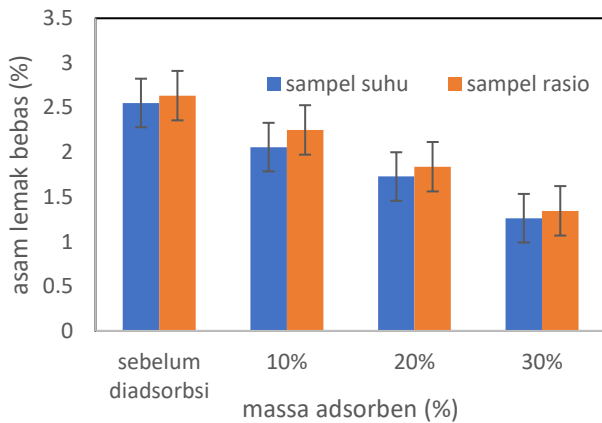
Gambar 2. Pengaruh Perbandingan suhu dan waktu terhadap yield

Pada hasil penelitian, Suhu 40 °C, 50 °C dan 60 °C dengan waktu ekstraksi 0, 15, 30, 45 dan 60 menit terlihat bahwa yield minyak dedak padi pada tiap waktu menunjukkan peningkatan seiring dengan bertambahnya suhu dan waktu ekstraksi. Secara berturut-turut yield minyak yang dihasilkan pada variasi suhu 40°C pada waktu 0, 15, 30, 45 dan 60 menit berturut turut yaitu sebesar 0%; 1,645%; 2,585%; 3,055% dan 3,76%. Sedangkan pada variasi suhu 50 °C pada waktu 0, 15, 30, 45 dan 60 menit berturut turut yaitu sebesar 0%; 3,525%; 3,995%; 4,465% dan 5,405%. Dan pada variasi suhu 60°C pada waktu 0, 15, 30, 45 dan 60 menit berturut turut yaitu sebesar 0%; 4,935%; 5,405%; 6,11% dan 7,05%. Efisiensi ekstraksi minyak dedak padi dengan metode UAE terutama dipengaruhi oleh kavitasi ultrasonik. Gelembung kavitasi yang terbentuk dalam pelarut akan runtuh dan menghasilkan tekanan serta suhu lokal tinggi, sehingga dinding sel rusak, pori-pori terbuka, dan minyak lebih mudah terlepas ke pelarut. Peningkatan suhu juga membantu proses ekstraksi karena menurunkan viskositas pelarut dan meningkatkan kelarutan serta difusivitas minyak. Namun, jika suhu terlalu tinggi, gelembung kavitasi menjadi kurang efektif karena berisi lebih banyak uap, sehingga efek tumbukannya melemah. Karena itu, diperlukan optimasi suhu agar efek mekanis kavitasi dan peningkatan difusi dapat bekerja secara seimbang untuk menghasilkan rendemen terbaik (Djaeni & Listyadevi, 2019). Selanjutnya peningkatan waktu ekstraksi umumnya diikuti oleh kenaikan yield minyak karena kontak yang lebih lama antara bahan dan pelarut membuat proses difusi berlangsung lebih optimal. Dengan waktu yang cukup, lebih banyak minyak dapat berpindah dari bahan ke pelarut hingga mendekati kondisi ekstraksi maksimum (Mas'ud & Pabbenteng, 2016). Dalam penelitian ini ditemukan bahwa suhu dan waktu yang optimal adalah pada 60°C selama 60 menit, menghasilkan yield sebesar 7,05%. Hasil pada penelitian ini selaras dengan temuan yang menunjukkan bahwa peningkatan suhu dan waktu ekstraksi dapat meningkatkan yield selama proses transfer

massa belum mencapai kondisi jenuh. Setelah titik jenuh tercapai, penambahan suhu atau waktu tidak lagi memberikan peningkatan signifikan karena laju perpindahan massa telah berada pada batas maksimum. pada penelitian (Rifai et al., 2018) yield optimum juga diperoleh pada suhu 60 °C dan waktu 60 menit sebesar 20,35%. Yield pada penelitian ini lebih rendah karena rasio bahan:pelarut yang digunakan lebih kecil dan jenis pelarutnya berbeda, sehingga minyak yang terekstraksi juga lebih sedikit. Temuan serupa dilaporkan oleh (Muqorrobin & Mustikaningum, 2023) yang menunjukkan bahwa kenaikan suhu dan waktu meningkatkan kemampuan pelarut melarutkan minyak, sehingga yield turut meningkat.

3.3. Pengaruh massa adsorben terhadap penurunan kadar asam lemak bebas minyak dedak padi

Hasil korelasi penambahan massa adsorben terhadap penurunan kadar asam lemak bebas dapat ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Pengaruh massa adsorben terhadap kadar asam lemak bebas

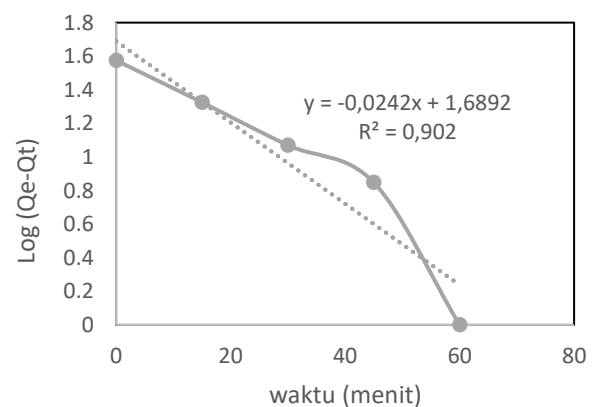
Pada hasil penelitian, penggunaan massa adsorben 10%, 20% dan 30% dari berat minyak, menunjukkan penurunan kadar asam lemak bebas seiring dengan bertambahnya massa adsorben. Secara berturut-turut penurunan kadar asam lemak bebas pada sampel suhu dengan massa adsorben 10%, 20% dan 30% dari berat minyak yaitu 2,05; 1,72; 1,26% dari kadar 2,55% sebelum sampel diadsorpsi. Dan pada sampel rasio Secara berturut-turut penurunan kadar asam lemak bebas dengan variasi massa adsorben 10%, 20% dan 30% dari berat minyak yaitu 2,24; 1,83; 1,34% dari kadar 2,63% sebelum sampel diadsorpsi. Secara teori, peningkatan massa zeolit dalam proses adsorpsi akan menurunkan kadar FFA karena bertambahnya luas permukaan dan volume pori yang tersedia untuk mengikat molekul FFA. Luas kontak yang lebih besar membuat interaksi antara FFA dan situs aktif zeolit berlangsung lebih efektif sehingga efisiensi adsorpsi meningkat. Namun, setelah mencapai kondisi optimum, penambahan zeolit tidak lagi memberikan peningkatan signifikan karena situs aktif mulai jenuh. Pada tahap ini, penambahan adsorben hanya menambah jumlah padatan tanpa memperbaiki kemampuan penyerapan (Adhani et al., 2016). Dalam penelitian ini diperoleh variasi massa adsorben optimum ialah pada variasi massa adsorben

30% dengan kadar asam lemak bebas pada sampel suhu sebesar 1,26% dan sampel rasio sebesar 1,34%. Hasil penelitian ini sejalan dengan temuan (Heriyanto et al., 2022) yang melaporkan bahwa penggunaan 30% zeolit dari berat minyak sawit mampu menurunkan FFA dari 1,46% menjadi 0,7%. Pada penelitian ini, massa adsorben 30% juga efektif menurunkan FFA minyak dedak padi, namun nilainya masih belum memenuhi standar yang ditetapkan oleh Codex (CXS 210-1999) yang mengatur terkait mutu minyak dedak padi setelah pemurnian secara internasional dengan FFA maksimal 0,3% (Mekouar, 2021). Hal ini wajar karena proses pemurnian yang digunakan hanya satu tahap adsorpsi, sedangkan proses industri biasanya melibatkan beberapa tahap pemurnian sehingga penurunan FFA dapat lebih maksimal. Meskipun demikian, kadar FFA minyak yang diperoleh masih memenuhi standar SNI 2901:2021 untuk crude rice bran oil, yaitu FFA < 5% (Badan Standarisasi Nasional, 2021). Temuan ini menunjukkan bahwa proses pengolahan minyak pada penelitian ini berlangsung baik, tanpa indikasi oksidasi atau peningkatan aktivitas lipase yang dapat menyebabkan FFA tinggi.

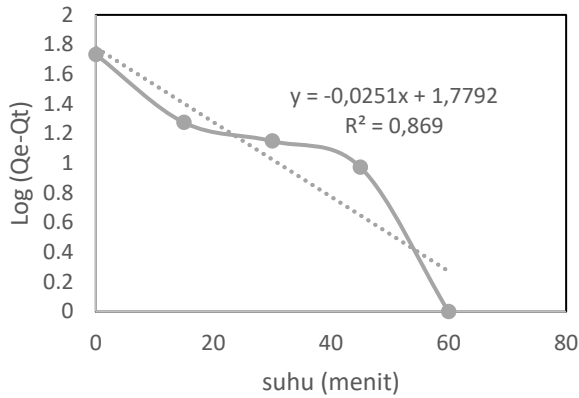
Implikasinya, kombinasi UAE dan adsorpsi zeolit sudah efektif untuk menghasilkan minyak dedak padi dengan kualitas aman pada level minyak kasar. Hasil ini memberikan dasar ilmiah bagi pengembangan strategi pemurnian minyak secara bertahap, termasuk penerapan multi-tahap adsorpsi, agar dapat mencapai standar internasional untuk minyak dedak padi setelah pemurnian dan meningkatkan nilai tambah dedak padi secara lebih optimal.

3.4. Studi Kinetika dan Penentuan Energi Aktivasi

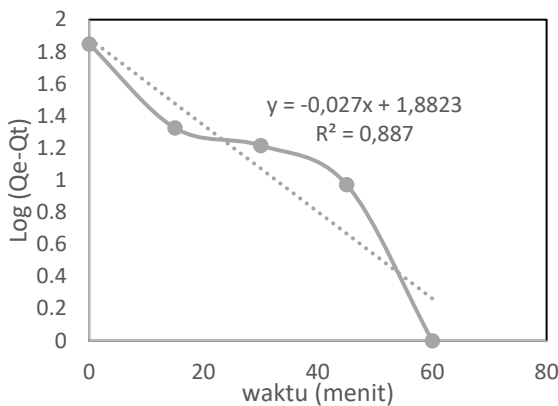
Hasil dari perhitungan *pseudo first order* dan *pseudo second order* pada berbagai suhu dapat dilihat pada Gambar 4, Gambar 5 dan Gambar 6.



Gambar 4. Perhitungan *Pseudo first order* pada suhu 40°C



Gambar 5. Perhitungan *Pseudo first order* pada suhu 50°C

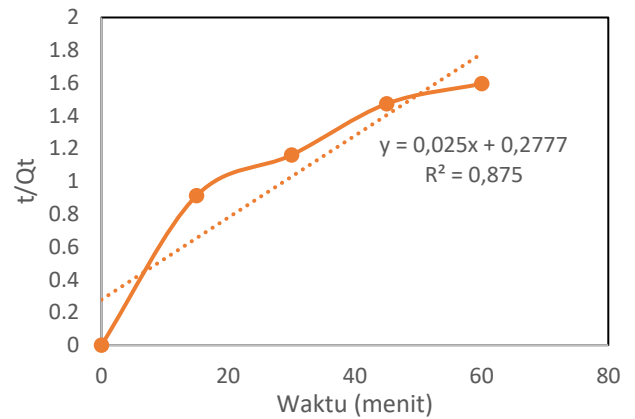


Gambar 6. Perhitungan *Pseudo first order* pada suhu 60°C

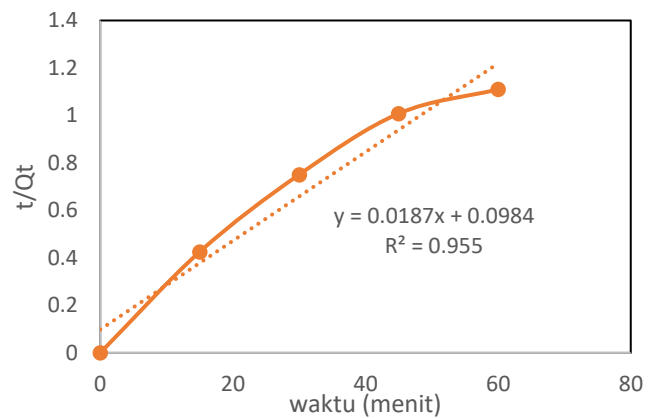
Analisis parameter kinetika ekstraksi (k) dari penelitian ini dilakukan menggunakan model *pseudo first order*. Metode ini dilakukan dengan membuat plot antara waktu ekstraksi (t) pada sumbu x dan nilai $\ln[q_e/(q_e - q_t)]$ pada sumbu y. Dari hasil plot tersebut diperoleh persamaan linier, di mana nilai kemiringan garis (slope) menunjukkan konstanta laju ekstraksi (k). Selanjutnya, untuk menentukan nilai parameter kinetika dengan model *pseudo second order*, dilakukan analisis menggunakan langkah serupa, yaitu memplotkan waktu (t) pada sumbu x dan t/q_t pada sumbu y. Nilai slope dan intercept dari hasil linearisasi tersebut kemudian digunakan untuk menentukan konstanta kinetika serta memperkirakan kesesuaian model terhadap data eksperimen.

Perbedaan yang mencolok terlihat pada nilai koefisien determinasi (R^2) yang didapat pada Gambar 7, Gambar 8, dan Gambar 9. Dalam model *pseudo second order*, nilai R^2 mencapai 0,969, yang lebih tinggi dibandingkan model *pseudo first order* yang hanya memiliki nilai R^2 sebesar 0,902. Selanjutnya, perhitungan menunjukkan bahwa konstanta laju pada model *pseudo second order* (K_2) adalah 0,003 $g\ g^{-1}\ jam^{-1}$, lebih besar dibandingkan konstanta laju pada model *pseudo first order* (K_1) yang bernilai 0,062 $menit^{-1}$. Berdasarkan nilai R^2 yang lebih tinggi ini, dapat disimpulkan bahwa model kinetika yang paling cocok untuk menggambarkan fenomena ekstraksi adalah model *pseudo second order*. Model *pseudo second order* tidak hanya dipengaruhi oleh proses fisik seperti difusi, tetapi juga oleh

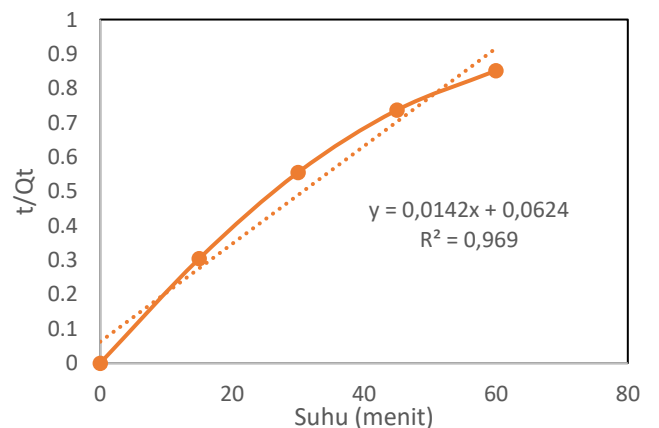
interaksi kimia yang kompleks. Laju reaksi bergantung pada interaksi kimia, termasuk pembentukan ikatan kovalen atau valensi, sehingga mekanisme ekstraksi cenderung dikendalikan oleh proses kemisorpsi (Ho & McKay, 1999). Dalam mekanisme kemisorpsi, laju ekstraksi dipengaruhi oleh interaksi kimia antara molekul minyak atau asam lemak dengan matriks padat, seperti ikatan hidrogen, interaksi polar, dan difusi melalui pori-pori. Pola kinetika menunjukkan bahwa interaksi kimiawi lemah hingga sedang memengaruhi kecepatan ekstraksi, dan pendekatan ini menjelaskan data kinetika sekaligus mekanisme fisiko-kimia ekstraksi secara keseluruhan.



Gambar 7. Perhitungan *Pseudo second order* pada suhu 40°C



Gambar 8. Perhitungan *Pseudo second order* pada suhu 50°C



Gambar 9. Perhitungan *Pseudo second order* pada suhu 60°C

Hasil perhitungan dari kedua model kinetika tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Perbedaan suhu terhadap nilai K dan R pada kedua model kinetika

Suhu (°C)	<i>Pseudo first order</i>		<i>Pseudo second order</i>	
	k1 (menit ⁻¹)	R ₂	k2 (g/mg·menit)	R ²
40	0,055	0,902	0,002	0,875
50	0,057	0,869	0,003	0,955
60	0,062	0,887	0,003	0,969

Setelah diperoleh model kinetika yang sesuai untuk menentukan konstanta kecepatan ekstraksi, dilakukan analisis lanjutan untuk menghitung energi aktivasi (E_a) berdasarkan konstanta laju reaksi *pseudo second order* menggunakan persamaan Arrhenius. Perbandingan suhu 50°C–60°C menghasilkan nilai E_a sebesar 8,51 kJ/mol. Proses ekstraksi dengan energi aktivasi (E_a) positif bersifat endotermik, artinya memerlukan penyerapan energi sehingga peningkatan suhu mempercepat difusi dan pelepasan minyak. Perhitungan E_a menggunakan persamaan Arrhenius menunjukkan bahwa saat suhu ekstraksi naik, nilai E_a menurun. Hal ini terjadi karena pada suhu rendah, laju ekstraksi masih dikendalikan oleh reaksi kimia yang membutuhkan energi tinggi. Saat suhu meningkat, energi kinetik molekul pelarut bertambah, viskositas larutan menurun, dan koefisien difusi meningkat, sehingga perpindahan massa menjadi lebih cepat. Akibatnya, mekanisme pengendali laju bergeser dari reaksi kimia menuju difusi, yang memerlukan energi aktivasi lebih rendah (López et al., 2023).

Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa peningkatan rasio massa bahan : volume pelarut, suhu, dan waktu ekstraksi meningkatkan *yield* minyak dedak padi yang dihasilkan. Kondisi ideal dicapai pada rasio 1:5, dengan suhu 60°C, dan durasi 60 menit, menghasilkan rendemen sebesar 7,05%. Proses adsorpsi menggunakan zeolit mampu menurunkan kadar asam lemak bebas dari 2,55% menjadi 1,26% pada sampel suhu, dan dari 2,63% menjadi 1,34% pada sampel rasio dengan massa adsorben optimum 30% dari berat minyak, namun kadar asam lemak bebas minyak setelah diadsorpsi masih belum memenuhi standar yang ditetapkan oleh *Codex Standard for rice brain oil refined* (CXS 210-1999) yang mengatur terkait mutu minyak dedak padi setelah pemurnian secara internasional dengan FFA maksimal 0,3%. Namun dalam penelitian ini, kadar FFA pada minyak dedak padi kasar (*crude rice brain oil*) dari hasil ekstraksi jika didekati dengan standar CPO telah memenuhi SNI 2901:2021 dengan kadar FFA kurang dari 5%. Model kinetika *pseudo second order* paling sesuai menggambarkan proses ekstraksi dengan nilai R² sebesar 0,969. Berdasarkan persamaan Arrhenius, diperoleh energi aktivasi pada suhu 50–60°C sebesar 8,51 kJ/mol. Hasil penelitian ini memberikan dasar praktis untuk pengolahan dedak padi secara lebih optimal, memungkinkan peningkatan efisiensi ekstraksi, perbaikan kualitas minyak, serta peningkatan

nilai tambah limbah pertanian menjadi produk minyak nabati yang berkualitas dan potensial secara komersial.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Gresik atas penyediaan fasilitas penelitian yang mendukung pelaksanaan penelitian ini, Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada dosen pembimbing atas bimbingan dan arahan yang diberikan selama penelitian dan penyusunan naskah.

Konflik Kepentingan

Penulis menyatakan tidak ada konflik kepentingan pada penelitian ini.

Kontribusi Penulis

Riris Dian Rahmawati: Perancangan Penelitian, Pengambilan Data, Pengolahan Data, Penulisan-Persiapan draf asli. Mega Mustikaningrum: Pembimbing dan Peninjau dari penelitian sampai penulisan draft asli.

Daftar Pustaka

- Adhani, L., Aziz, I., Nurbayti, S., & Octavia, C. A. (2016). Pembuatan Biodiesel dengan Cara Adsorpsi dan Transesterifikasi Dari Minyak Goreng Bekas. *Jurnal Kimia VALENSI*, 2(1), 71–80. <https://doi.org/10.15408/jkv.v2i1.3107>
- Badan Pusat Statistik. (2025). *Data produksi padi diindonesia tahun 2024*.
- Badan Standarisasi Nasional. (2021). *SNI CPO 01-2901-2021*.
- Djaeni, M., & Listyadevi, Y. L. (2019). Peningkatan Kecepatan Proses dan Mutu Minyak Bekatul melalui Proses Ekstraksi Berbantuan Ultrasonik. *TEKNIK*, 40(1), 18. <https://doi.org/10.14710/teknik.v39i3.22826>
- Haryono, H., Noviyanti, A. R., & Ernawati, E. E. (2021). Perbandingan Metode Stabilisasi pada Dedak Padi dengan Pemanasan Basah Berdasarkan Perolehan dan Karakteristik Fisiko-Kimia Minyak Dedak Padi. *Jurnal Teknotan*, 15(2), 85. <https://doi.org/10.24198/jt.vol15n2.4>
- Heriyanto, H., Suhendi, E., Asyuni, N. F., & Shahila, I. K. (2022). Effect of Bayah natural zeolite for purification of waste cooking oil as feedstock of alkyd resin. *Teknika: Jurnal Sains Dan Teknologi*, 18(1), 49. <https://doi.org/10.36055/tjst.v18i1.15542>
- Ho, Y. S., & McKay, G. (1999). Pseudo-second order model for sorption processes. *Process Biochemistry*, 34(5), 451–465. [https://doi.org/10.1016/S0032-9592\(98\)00112-5](https://doi.org/10.1016/S0032-9592(98)00112-5)
- Kaul, S., Sharma, G., Porwal, J., & Bisht, N. (2011). Effect of low frequency ultrasonic assisted extraction on the quality of seed oils of Indian origin. *Fuel Processing Technology*, 92(10), 1813–1820. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2011.03.020>

- Latief, M., Mahendra, I., Nurmawati, A., Saputro, W., & Saputro, E. A. (2023). Uji Efektivitas Proses Adsorpsi Dan Degumming Pada Minyak Jelantah Untuk Pembuatan Biodiesel. *Prosiding Seminar Nasional Soeboardjo Brotobardjono*, 19(1).
- López, G. G., Brousse, M. M., & Linares, A. R. (2023). Kinetic modelling of total phenolic compounds from *Ilex paraguariensis* (St. Hil.) leaves: Conventional and ultrasound assisted extraction. *Food and Bioproducts Processing*, 139, 75–88. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2023.03.003>
- Mas'ud, F., & Pabbenteng, P. (2016). Rasio Bekatul Padi dengan Pelarut pada Ekstraksi Minyak Bekatul Padi. *INTEK: Jurnal Penelitian*, 3(2), 82–86. <https://doi.org/10.31963/intek.v3i2.56>
- Mega Mustikaningum, & Anjarsari, P. D. (2023). Analisis Pengaruh Perbedaan Volume Pelarut Heksana pada Parameter Konstanta Kecepatan Ekstraksi Minyak Kopi Robusta. *Jurnal Surya Teknik*, 10(2), 896–899. <https://doi.org/10.37859/jst.v10i2.6048>
- Mekouar, M. A. (2021). 15. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). *Yearbook of International Environmental Law*, 30(1), 544–562. <https://doi.org/10.1093/yiel/yvaa059>
- Muqorrobin, M., & Mustikaningum, M. (2023). Pengaruh Perbedaan Suhu dan Waktu Terhadap Kinetika Ekstraksi Minyak dengan Metode Ultrasonik pada Ampas Kopi. *Jurnal Integrasi Proses Dan Lingkungan*, 1(1). <https://doi.org/10.30587/jipl.v1i1.6416>
- Nasir, S., Fitriyanti, F., & Kamila, H. (2009). Ekstraksi dedak padi menjadi minyak mentah dedak padi (Crude Rice Bran Oil) Dengan Pelarut N-Hexane Dan Ethanol. *Jurnal Teknik Kimia*, 16(2).
- Putrawan, I. D. G. A., Nugoho, R., & Anggara, R. (2017). Ekstraksi Asam Lemak Bebas dari Minyak Dedak Padi Menggunakan Etanol-Air dalam Tangki Pengaduk. *Reaktor*, 17(3), 166. <https://doi.org/10.14710/reaktor.17.3.166-176>
- Rifai, G., Rai Widarta, I. W., & Ayu Nocianitri, K. (2018). Pengaruh Jenis Pelarut dan Rasio Bahan dengan Pelarut terhadap Kandungan Senyawa Fenolik dan Aktivitas Antioksidan Ekstrak Biji Alpukat (*Persea Americana* Mill.). *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Pangan (ITEPA)*, 7(2), 22. <https://doi.org/10.24843/itepa.2018.v07.i02.p03>
- Rukunudin, I. H., White, P. J., Bern, C. J., & Bailey, T. B. (1998). A modified method for determining *Free Fatty Acids* from small soybean oil sample sizes. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 75(5), 563–568. <https://doi.org/10.1007/s11746-998-0066-z>
- Thilakarathna, R. C. N., Siow, L. F., Tang, T.-K., & Lee, Y. Y. (2023). A review on application of ultrasound and ultrasound assisted technology for seed oil extraction. *Journal of Food Science and Technology*, 60(4), 1222–1236. <https://doi.org/10.1007/s13197-022-05359-7>