

POTENSI BIJI DAN DAUN JARAK PAGAR (*Jatropha curcas*) SEBAGAI SUMBER PROTEIN ALTERNATIF DAN IMUNOSTIMULAN DALAM Mendukung AKUAKULTUR BERKELANJUTAN: KAJIAN PUSTAKA

I Kadek Sumiana, Bagus Ansani Takwin*, Adimas Bagus Fahturohman, Gabriella Augustine Suleman

Program Studi Budidaya Perairan, Fakultas Peternakan Kelautan dan Perikanan, Universitas Nusa Cendana, Jl. Matani Raya, Lasiana, Kota Kupang, Nusa Tenggara Timur, 85228, Indonesia

(Naskah diterima: 22 September 2025; Revisi final: 19 Oktober 2025; Disetujui publikasi: 19 Oktober 2025)

ABSTRAK

Krisis pangan global dan tingginya kebutuhan protein hewani menuntut adanya sumber protein alternatif yang berkelanjutan dalam akuakultur. Ketergantungan pada tepung ikan sebagai bahan pakan utama menghadapi kendala berupa keterbatasan pasokan dan fluktuasi harga, sehingga diperlukan eksplorasi bahan nabati dengan potensi tinggi, antara lain jarak pagar (*Jatropha curcas*). Artikel ini bertujuan untuk mengkaji potensi jarak pagar sebagai sumber protein alternatif dalam pakan akuakultur. Metode penelitian yang digunakan dalam kajian ini adalah metode kualitatif dengan teknik pengumpulan data melalui studi literatur atau kajian pustaka. Data diperoleh dengan mempelajari teori, konsep, dan hasil penelitian terdahulu yang relevan dengan topik. Sumber kajian berasal artikel jurnal bereputasi nasional, internasional dan prosiding yang diterbitkan dari tahun 2010-2025. Proses pengumpulan literatur dilakukan melalui berbagai basis data seperti Scopus, Web of Science, PubMed, MDPI, Springer Link dan Google Scholar dengan menggunakan kata kunci yang sesuai. Hasil kajian menunjukkan bahwa jarak pagar mengandung protein tinggi 56–64% dengan profil asam amino lengkap serta senyawa bioaktif (flavonoid 0,09–2,92%, saponin 0,092–3,5%, tanin 0,0049–0,395%, fenolik 0,48–38%, alkaloid 0,070–0,50% terpenoid 0,022%) yang berfungsi sebagai imunostimulan. Proses detoksifikasi mampu menurunkan kandungan antinutrisi hingga 85%. Aplikasinya dalam pakan mampu menggantikan tepung ikan dan kedelai sebesar 10–40%, meningkatkan pertumbuhan, efisiensi pakan, respons imun, dan kelangsungan hidup organisme budidaya hingga 88,3%. Kajian ini menyimpulkan jarak pagar memiliki potensi sebagai sumber protein alternatif dalam pakan akuakultur karena kandungan nutrisinya yang tinggi dan keberadaan senyawa bioaktif yang bermanfaat melalui metode pengolahan yang tepat. Namun, pemanfaatannya masih terbatas oleh kandungan senyawa toksik yang memerlukan proses detoksifikasi efektif dan aman. Tantangan riset ke depan mencakup optimalisasi teknologi detoksifikasi dan analisis kelayakan aplikasinya dalam skala industri.

KATA KUNCI: akuakultur; detoksifikasi; jarak pagar; limbah; pakan

ABSTRACT: *Potential of Castor Oil Plant (*Jatropha curcas*) as an Alternative Source of Protein and Immunostimulant in Supporting Sustainable Aquaculture: A Review*

*Korespondensi: Program Studi Budidaya Perairan, Fakultas Peternakan Kelautan dan Perikanan, Universitas Nusa Cendana
Email: bagus.takwin@staf.undana.ac.id

The global food crisis and the increasing demand for animal protein necessitate sustainable alternative protein sources in aquaculture. Dependence on fishmeal as the primary feed ingredient faces challenges due to limited supply and fluctuating prices, making it essential to explore high-potential plant-based materials such as *Jatropha curcas*. This article aims to review the potential of *Jatropha curcas* as a protein source alternative in aquaculture feed. The research employed a qualitative method through a literature review, analyzing theories, concepts, and previous studies relevant to the topic. The data sources were peer-reviewed national and international articles and conference proceedings published between 2010 and 2025. Literature was collected from various databases, including Scopus, Web of Science, PubMed, MDPI, Springer Link, and Google Scholar, using predetermined keywords. The findings indicate that *Jatropha curcas* contains high protein (56–64%) with a complete amino acid profile and bioactive compounds (flavonoids 0.09–2.92%, saponins 0.092–3.5%, tannins 0.0049–0.395%, phenolics 0.48–38%, alkaloids 0.070–0.50%, terpenoids 0.022%) that function as immunostimulants. Detoxification processes can reduce antinutritional factors by up to 85%. Its application in aquafeed can substitute 10–40% of fishmeal and soybean meal, improving growth, feed efficiency, immune response, and survival rate of cultured organisms up to 88.3%. This review concludes that *Jatropha curcas* has strong potential as an alternative protein source in aquaculture feed due to its high nutritional content and beneficial bioactive compounds when processed appropriately. However, its utilization remains constrained by toxic compounds that require effective and safe detoxification. Future research challenges include optimizing detoxification technologies and evaluating the plant feasibility for industrial-scale applications.

KEYWORDS: *aquaculture; detoxification; Jatropha curcas; waste; feed*

PENDAHULUAN

Krisis pangan global semakin mengemuka menimbulkan perhatian serius terhadap ketersediaan sumber protein berkelanjutan. Pertumbuhan populasi global diperkirakan mencapai 9,7 miliar jiwa pada tahun 2050 dan diproyeksikan akan meningkatkan permintaan protein hewani. Dalam menghadapi tantangan ini, akuakultur berperan penting dalam menyediakan sumber pangan hewani yang berkelanjutan, meningkatkan ketahanan pangan, dan mengurangi tekanan terhadap stok ikan alami melalui budidaya terkontrol yang ramah lingkungan (Rossignoli *et al.*, 2023). Potensi bungkil *Jatropha curcas* sebagai bahan baku pakan alternatif dapat digunakan sebagai pakan ikan laut, tawar dan payau (Luthada-Raswiswi *et al.*, 2021; Boyd *et al.*, 2022). Kondisi ini menimbulkan tantangan serius, mengingat produksi akuakultur menghadapi tekanan besar akibat fluktuasi harga bahan baku,

keterbatasan sumber daya, dan permasalahan lingkungan terkait penggunaan pakan berbasis tepung ikan (Macusi *et al.*, 2023).

Pada pembuatan pakan ikan, tepung ikan menjadi bahan baku utama yang digunakan karena memiliki kandungan protein kasar 70,6–72% serta kaya akan asam amino esensial dan asam lemak omega-3 yang penting untuk pertumbuhan dan kesehatan ikan (Fantatto *et al.*, 2024; Qin *et al.*, 2025). Dalam formulasi pakan, proporsi penggunaan tepung ikan bervariasi tergantung spesies, untuk ikan omnivora seperti *topmouth culter* (*Culter alburnus*), dapat mencapai 13,5–39% dari total bahan pakan, untuk ikan karnivora seperti *largemouth bass* (*Micropterus salmoides*), mencapai 18–36%, sedangkan untuk ikan herbivora seperti *grass carp* (*Ctenopharyngodon idellus*), umumnya hanya memerlukan 3–6% (Chen *et al.*, 2024; Mao *et al.*, 2024; Guangwei *et al.*, 2025). Pemilihan bahan baku alternatif tidak hanya ditentukan oleh nilai nutrisi dan

kesehatan ikan, tetapi juga ketersediaan dan efisiensi biaya di tingkat lokal (Maulu *et al.*, 2022; hilmaret *al.*, 2025). Oleh karena itu, perbandingan antara bahan pakan impor dan sumber protein lokal menjadi krusial untuk memastikan keberlanjutan sistem akuakultur.

Di Indonesia, ketergantungan terhadap tepung ikan impor masih sangat tinggi. Ketergantungan terhadap tepung ikan juga berdampak langsung pada eksploitasi sumber daya ikan (SDI), karena produksi tepung ikan umumnya berasal dari penangkapan ikan pelagis kecil yang berperan penting dalam keseimbangan ekosistem (Hilmarsdóttir *et al.*, 2022). Data terbaru menunjukkan bahwa kebutuhan nasional tepung ikan untuk industri pakan pada tahun 2023 mencapai 121.447 ton, di mana sebagian besar masih dipenuhi melalui impor karena produksi domestik belum mampu menutupi permintaan (Setiawan *et al.*, 2024). Salah satu faktor penyebabnya adalah kualitas tepung ikan lokal yang cenderung lebih rendah, baik dari sisi kandungan protein maupun konsistensi mutu, dibandingkan produk impor yang memiliki sertifikasi dan standar kualitas lebih baik (Hossain *et al.*, 2023; Herdina *et al.*, 2024). Ketergantungan ini menyebabkan biaya produksi pakan rentan terhadap fluktuasi harga internasional, sehingga mendorong perlunya eksplorasi bahan protein alternatif untuk mendukung keberlanjutan akuakultur di masa depan (Serra *et al.*, 2024).

Upaya substitusi tepung ikan dengan sumber protein nabati telah banyak dilakukan, baik pada skala laboratorium maupun komersial. Beberapa bahan nabati yang telah digunakan secara luas antara lain tepung kedelai yang menjadi pengganti utama di industri pakan global, diikuti oleh tepung kanola, tepung biji kapas, tepung lupin kuning, tepung kacang, dan tepung biji bunga matahari yang masih banyak diuji pada skala riset (Kumar & Barman, 2012). Beberapa studi menunjukkan bahwa penggantian tepung ikan hingga 50% dengan soybean meal masih dapat mendukung pertumbuhan optimal pada ikan karnivora seperti barramundi (*Lates calcarifer*), meskipun tingkat substitusi penuh

menurunkan konsumsi pakan dan kinerja pertumbuhan (Ma *et al.*, 2018). Upaya lain dilakukan melalui fermentasi *soybean meal*, yang terbukti dapat mengurangi senyawa antinutrisi *Anti-Nutritional Factors* (ANF) dan meningkatkan pencernaan, meskipun pada ikan mas koki (*Carassius auratus*), penggantian lebih dari 28% tetap menurunkan pertumbuhan (Da Cunha *et al.*, 2022).

Anti-Nutritional Factors (ANF) merupakan senyawa alami yang terdapat dalam bahan pakan nabati yang dapat menghambat pemanfaatan zat gizi oleh hewan. Beberapa contoh ANF yang umum ditemukan antara lain fitat, saponin, tannin, tripsin, serta kandungan serat kasar (*crude fiber*) yang berlebihan, dapat mengganggu penyerapan nutrisi dan memengaruhi morfologi usus (Nafees *et al.*, 2023). Penelitian terbaru pada *Labeo rohita* di sistem keramba menunjukkan bahwa formulasi pakan berbasis protein nabati seperti bungkil sawi, dedak padi, tepung kedelai dapat menggantikan sebagian tepung ikan tanpa mengurangi pertumbuhan, meskipun tingginya serat kasar tetap menjadi faktor pembatas (Aker *et al.*, 2024). Permasalahan tersebut mendorong pencarian alternatif berbasis tanaman (*plant-based feed*) yang dipandang sebagai langkah strategis untuk mengurangi ketergantungan pada tepung ikan sekaligus mendukung keberlanjutan akuakultur, dengan pemanfaatan berbagai bagian tanaman seperti daun, batang, akar, getah, dan biji sebagai bahan baku pakan (Nithiyanantham *et al.*, 2012; Abbas *et al.*, 2022; Napier & Betancor, 2023; Ruatpuia *et al.*, 2024). Berbagai tanaman telah diteliti sebelumnya sebagai sumber protein nabati untuk menggantikan sebagian peran tepung ikan dalam pakan akuakultur. Bungkil kedelai (*soybean meal*) merupakan bahan yang sering digunakan secara global karena kandungan proteinnya yang tinggi 27,62–46,44% serta ketersediaannya yang melimpah, meskipun keberadaan faktor antinutrisi seperti inhibitor tripsin dan fitat tetap menjadi kendala utama (Ciptaan *et al.*, 2022; Suprayogi *et al.*, 2022; Oviedo-Rondon *et al.*, 2024). Biji karet (*Hevea brasiliensis*) juga

dieksplorasi sebagai bahan pakan alternatif karena mengandung protein kasar 19,8-30,6%, namun pemanfaatannya masih terbatas akibat adanya senyawa toksik linamarin yang perlu diatasi melalui proses detoksifikasi (Chaikul *et al.*, 2024; Cheng *et al.*, 2024; Gunun *et al.*, 2024). Sementara itu, biji kapuk (*Ceiba pentandra*) mengandung protein kasar 20–35%, kemudian beberapa biji tanaman lokal lain seperti bunga matahari serta kanola telah diuji dalam skala laboratorium dengan hasil bervariasi, terutama karena keterbatasan profil asam amino esensial dan tingginya kadar serat kasar (Smith *et al.*, 2017; Wafar *et al.*, 2018).

Tanaman jarak pagar (*Jatropha curcas*) telah diidentifikasi sebagai salah satu kandidat potensial sumber bahan baku pakan akuakultur. Selama ini, tanaman ini lebih dikenal sebagai penghasil minyak biodiesel, namun proses ekstraksi minyak menyisakan residu padat berupa bungkil yang masih kaya protein. Bungkil jarak pagar dilaporkan mengandung protein kasar sekitar 58% dengan profil asam amino esensial yang relatif lengkap (Li *et al.*, 2017), sehingga berpotensi menggantikan sebagian tepung ikan dalam formulasi pakan. Biji dan bungkil memiliki kandungan protein kasar sebesar 56–64% (Saeed *et al.*, 2017). Bagian lain dari tanaman ini juga berpotensi untuk dimanfaatkan, seperti daun yang mengandung protein sedang 26% (Asuk *et al.*, 2015), serta senyawa bioaktif yang berfungsi sebagai imunostimulan dan antimikroba alami pada organisme akuatik (Takwin *et al.*, 2020). Getahnya memiliki senyawa bioaktif dengan potensi serupa, meskipun penggunaannya masih terbatas karena toksisitas tinggi; sedangkan kulit buah, cangkang, dan batang umumnya hanya berperan sebagai sumber energi atau serat setelah pengolahan. Kendati demikian, pemanfaatan jarak pagar dalam pakan masih menghadapi kendala serius akibat adanya senyawa toksik seperti *curcin* dan *phorbol ester* yang memerlukan proses detoksifikasi agar aman digunakan (Abbas *et al.*, 2022). Saat ini, penelitian lebih banyak berfokus pada aplikasi spesies budidaya serta teknik pengolahan untuk menurunkan

kandungan antinutrisi, sementara studi komprehensif mengenai potensi jarak pagar sebagai bahan baku pakan akuakultur, baik di tingkat global maupun di Indonesia, masih relatif terbatas.

Sejumlah penelitian terdahulu telah membahas potensi nutrisi atau aktivitas bioaktif *jarak pagar*, namun sebagian besar masih bersifat parsial dan belum mengintegrasikan aspek nutrisi, toksisitas, serta metode pengolahan (fermentasi, ekstraksi minyak, detoksifikasi) dalam satu kerangka komprehensif. Selain itu, kajian yang mengaitkan potensi tersebut dengan penerapan dalam sistem akuakultur tropis di Indonesia masih sangat terbatas. Berdasarkan kesenjangan tersebut, artikel ini bertujuan untuk mengkaji potensi jarak pagar sebagai sumber protein alternatif dalam pakan akuakultur melalui telaah terhadap kandungan nutrisi, senyawa bioaktif, metode pengolahan, serta prospeknya dalam mendukung sistem akuakultur berkelanjutan. Secara teoretis, penelitian ini berkontribusi dalam memperkaya literatur mengenai *plant-based feed*, sedangkan secara praktis memberikan landasan ilmiah bagi strategi substitusi tepung ikan dan kedelai di Indonesia. Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi aspek nutrisi, bioaktivitas, dan toksisitas jarak pagar dalam konteks pengembangan pakan akuakultur berkelanjutan, yang sejauh ini belum banyak dikaji secara sistematis dalam penelitian sebelumnya.

METODE KAJIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam kajian ini adalah metode kualitatif dengan teknik pengumpulan data melalui studi literatur atau kajian Pustaka. Data diperoleh dengan cara memahami serta mempelajari teori, konsep, dan hasil penelitian terdahulu yang relevan dengan topik. Sumber kajian berasal artikel jurnal bereputasi nasional, internasional dan prosiding yang diterbitkan dari tahun 2010-2025. Proses pengumpulan literatur dilakukan melalui berbagai basis

data seperti Scopus, Web of Science, PubMed, MDPI, Springer Link dan Google Scholar dengan menggunakan kata kunci yang sesuai. Literatur yang diperoleh kemudian diseleksi berdasarkan relevansi, reputasi penerbit, serta kebaruan, dan selanjutnya diklasifikasikan menjadi pustaka yang terkait langsung dengan objek kajian dan pustaka pendukung. Seluruh bahan pustaka tersebut parameter dianalisis secara kualitatif dengan kritis dan mendalam untuk mengkonstruksi argumentasi yang sistematis, dengan menekankan pada parameter utama yaitu potensi dan kuantitas produksi (*production and productivity*), kualitas yang mencakup komposisi proksimat, asam amino, faktor anti-nutrisi, serta kandungan bioaktif dan metode peningkatan kualitas, serta pemanfaatannya dalam pakan untuk mendukung pertumbuhan, meningkatkan efisiensi pakan, dan memperkuat sistem kekebalan tubuh. Dengan demikian, kajian ini disusun secara komprehensif sehingga dapat mendukung proposisi penelitian sekaligus memberikan dasar yang kuat bagi penelitian selanjutnya.

HASIL DAN BAHASAN

Kelimpahan Tanaman Jarak Pagar

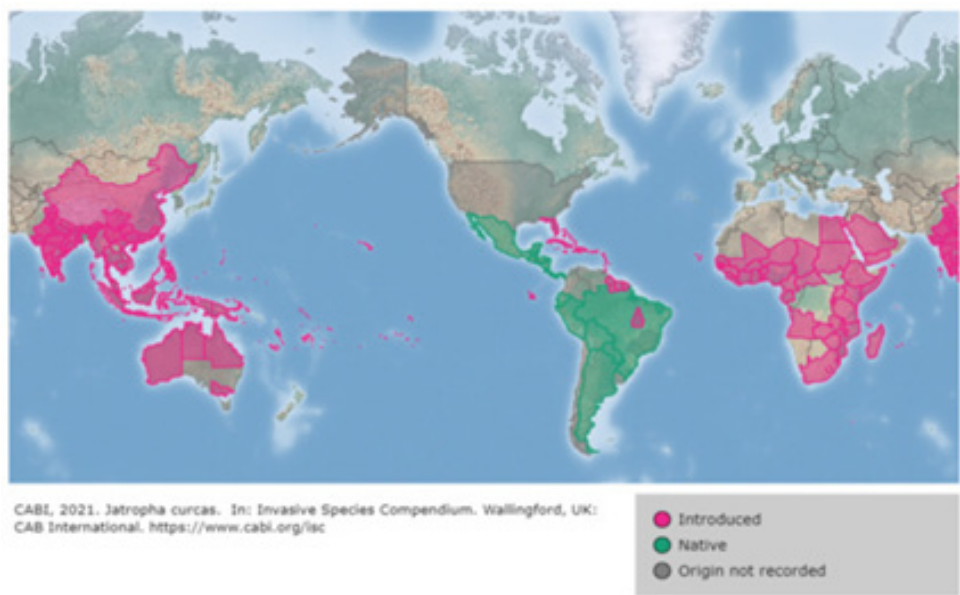
Jarak pagar merupakan tanaman semak besar atau pohon kecil yang termasuk ke dalam Euphorbiaceae. Biji jarak pagar menghasilkan minyak yang digunakan sebagai biodiesel. Tanaman ini berasal dari Amerika utara dan tengah, dan saat sekarang ini telah tersebar luas di seluruh di dunia seperti Afrika, India, Asia Tenggara, dan Tiongkok. Hasil produksi biji *Jatropha curcas* di berbagai negara dan wilayah dilaporkan sangat bervariasi, yaitu antara 0,1 hingga 15 ton per hektar per tahun. Sementara itu, kemampuan tanaman ini dalam menghasilkan minyak mencapai sekitar 1.590 kilogram per hektar per tahun (Silitonga *et al.*, 2013). Gambar 1 menunjukkan peta distribusi jarak pagar di seluruh wilayah secara global.

Jarak pagar di Indonesia sangat melimpah

dan telah banyak dibudidayakan, ditandai dengan adanya kebijakan pemerintah Indonesia. Menurut kebijakan energi nasional yang tertuang dalam Peraturan Presiden Nomor 5 Tahun 2006, upaya pengamanan pasokan energi dalam negeri dilakukan dengan menurunkan nilai elastisitas energi yang pada tahun 2006 tercatat sebesar 1,84, dengan target agar pada tahun 2025 nilainya menjadi kurang dari 1,0. Salah satu komponen penting dalam bauran energi (*energy mix*) yang ditetapkan pemerintah adalah bahan bakar nabati (*biofuel*), yang ditargetkan berkontribusi sebesar 5% pada tahun 2025. Berdasarkan data dari Berdasarkan data dari Direktorat Jenderal Perkebunan, Kementerian Pertanian (2022) dalam Statistik Perkebunan Non Unggulan Nasional 2020-2022, total luas areal perkebunan jarak pagar di Indonesia selama periode 2006-2022 tercatat mencapai sekitar 486 ribu hektare, dengan total produksi sekitar 65 ribu ton. Data tabel luas area dan produksi pertahun dapat dilihat pada Tabel 1.

Jarak pagar dapat tumbuh subur di lahan kering. Berdasarkan hasil pembaruan data yang dilakukan oleh Badan Litbang Pertanian (2007) terkait potensi pengembangan lahan kering untuk komoditas bioenergi, diketahui bahwa total luas lahan kering di Indonesia mencapai sekitar 22,3 juta hektar. Dari jumlah tersebut, terdapat sekitar 15,3 juta hektar yang berpotensi dimanfaatkan untuk tanaman tahunan lahan kering, dengan sebaran wilayah meliputi Sumatera, Jawa, Bali, Nusa Tenggara, Kalimantan, Sulawesi, Maluku, dan Papua.

Berdasarkan klasifikasi kesesuaian lahan, Indonesia saat ini baru memiliki peta kesesuaian lahan berskala kecil, yaitu 1:1.000.000. Berdasarkan peta eksplorasi tersebut, total lahan yang berpotensi sesuai untuk budidaya jarak pagar diperkirakan mencapai sekitar 49,53 juta hektar. Dari luas tersebut, lahan yang tergolong sangat sesuai mencakup sekitar 14,28 juta hektar, cukup sesuai sekitar 5,53 juta hektar, dan sesuai marginal sekitar 29,72 juta hektar. Wilayah dengan kategori sangat sesuai terbesar berada di Kalimantan seluas 4,72



Gambar 1. Sebaran tanaman jarak pagar (*J. curcas*) di seluruh dunia (Sumber: CABI, 2021)
Figure 1. Global distribution of Castor Oil Plant (*J. curcas*) (Source: CABI, 2021. <https://www.cabi.org/isc>)

Tabel 1. Luas area dan produksi tanaman jarak pagar (*J. curcas*) di Indonesia
Table 1. Area and production of Castor Oil Plant (*J. curcas*) in Indonesia

Tahun Year	Luas Area (ha) Land Area	Produksi (ton) Production
2006	29.777	2.890
2007	68.700	7.852
2008	53.700	7.197
2009	52.722	6.851
2010	50.106	7.081
2011	47.676	6.576
2012	44.662	6.424
2013	38.037	4.821
2014	22.551	3.247
2015	21.356	2.618
2016	15.914	2.127
2017	14.533	2.086
2018	9.261	1.196
2019	7.628	1.115
2020	6.578	988
2021*	6.523	947
2022**	6.386	900

Keterangan: *) Angka sementara tahun 2021; **) Angka sangat sementara tahun 2022 (Sumber : Direktorat Jenderal Perkebunan, Kementerian Pertanian, 2022)

Note: *) Preliminary figures for 2021; **) Very preliminary figures for 2022 (Source: Directorate General of Plantations, Ministry of Agriculture, 2022)

juta hektar, diikuti oleh Papua, Maluku, dan Sulawesi dengan total sekitar 2,56 juta hektar. Sementara itu, lahan yang cukup sesuai banyak ditemukan di Kalimantan (1,71 juta hektar) dan Nusa Tenggara (1,26 juta hektar). Adapun

kelas sesuai marginal paling luas terdapat di Sumatera (11,09 juta hektar) dan Kalimantan (11,03 juta hektar). Tabel 2 menyajikan luas lahan kering tahunan yang berpotensi untuk budidaya jarak pagar.

Tabel 2. Luas lahan kering tahunan di Indonesia yang berpotensi untuk tanaman jarak pagar (*J. curcas*) (Syakir, 2010)

Table 2. The annual dry land areas in Indonesia suitable for Castor Oil plant (*J. curcas*) cultivation (Syakir, 2010)

Pulau Island	Lahan kering semusim (ha) Seasonal dry land (ha)	Lahan kering tahunan (ha) Annual dry land (ha)	Luas total lahan kering (ha) Total dry land area (ha)
Sumatera	1.311.776	3.226.785	4.538.561
Jawa	40.544	158.953	199.497
Bali dan Nusa Tenggara	137.659	610.165	747.824
Kalimantan	3.639.403	7.272.049	10.911.452
Sulawesi	215.452	601.180	816.632
Maluku dan Papua	1.738.978	3.440.973	5.179.951
Indonesia	7.083.812	15.310.105	22.393.917

IDENTIFIKASI SENYAWA BIOAKTIF *Jatropha curcas*

Kandungan Senyawa Fitokimia *Jatropha curcas*

Tanaman jarak pagar (*Jatropha curcas* L.) merupakan spesies tropis dan subtropis yang memiliki daya adaptasi tinggi terhadap berbagai kondisi lingkungan. Tanaman ini tumbuh optimal pada daerah dengan ketinggian 0–500 meter di atas permukaan laut, suhu antara 20–28°C, serta curah hujan tahunan berkisar 600–1.200 mm. Jarak pagar dapat berkembang baik pada berbagai jenis tanah, termasuk tanah marginal, berbatu, maupun tanah berpasir yang memiliki drainase baik dan pH tanah 5–6,5 (Tadesse & Tadesse, 2017; Yaqoob *et al.*, 2021). Secara geografis, tanaman ini memiliki heradistribusi luas di wilayah tropis dan subtropis, meliputi Amerika Tengah sebagai daerah asalnya, kemudian menyebar ke Afrika, Asia, dan daerah tropis lainnya melalui introduksi manusia (G. Liu & Mai, 2022; Pamba *et al.*, 2024). Di Indonesia, jarak pagar ditemukan hampir di seluruh wilayah, terutama di daerah beriklim kering seperti Nusa Tenggara Timur, Sulawesi Selatan, dan sebagian Jawa, menjadikannya tanaman potensial untuk dikembangkan pada lahan-lahan kurang produktif.

Tanaman Jarak pagar telah lama dikenal sebagai sumber bioaktif yang potensial, terutama karena kandungan senyawa fitokimianya yang melimpah. Spesies ini mengandung metabolit sekunder berupa alkaloid, fenolik, flavonoid, saponin, tannin,

serta senyawa terpenoid (Fatril *et al.*, 2025; Neupane *et al.*, 2021). Senyawa-senyawa ini berperan penting dalam meningkatkan respons imun, aktivitas antibakteri, hingga fungsi antioksidan. Mekanisme kerja senyawa bioaktif jarak pagar di antaranya adalah merusak membran sel bakteri, menghambat sintesis protein mikroba, mengendapkan protein patogen, serta menstimulasi fagositosis dan enzim pencernaan (Srinivasan *et al.*, 2019). Dalam bidang akuakultur, senyawa bioaktif ini berpotensi digunakan sebagai imunostimulan alami, pengendali penyakit, dan pengganti antibiotik sintetis yang selama ini menjadi isu utama dalam budidaya berkelanjutan. Tanaman jarak pagar dapat dilihat pada Gambar 2.

Kemampuan *Jatropha curcas* dalam menekan pertumbuhan *Vibrio* sp. memiliki keterkaitan erat dengan konsep eco-friendly aquaculture, karena mencerminkan pendekatan biologis dalam pengendalian penyakit yang ramah lingkungan. Senyawa bioaktif yang terkandung dalam jarak pagar terbukti memiliki aktivitas antibakteri yang mampu menghambat pertumbuhan dan metabolisme bakteri patogen tanpa menyebabkan efek toksik terhadap organisme akuatik (Takwin *et al.*, 2023). Mekanisme kerja senyawa tersebut meliputi kerusakan dinding sel, gangguan permeabilitas membran, serta inhibisi enzim esensial yang diperlukan untuk kelangsungan hidup bakteri (Liang *et al.*, 2021; Yan *et al.*, 2021), sehingga mampu menekan infeksi *Vibrio* sp. secara efektif dan meningkatkan pertumbuhan organisme budidaya. Berbeda dengan penggunaan antibiotik sintetis, pemanfaatan jarak pagar tidak menimbulkan



Gambar 2. Tanaman jarak pagar (*J. curcas*) (Kamaruddin *et al.*, 2024)
Figure 2. Castor Oil Plant (*J. curcas*) (Kamaruddin *et al.*, 2024)

residu berbahaya maupun resistensi mikroba di lingkungan perairan, sehingga dapat menjaga keseimbangan ekosistem mikroba alami. Kandungan senyawa fitokimia dari jarak pagar dapat dilihat pada Tabel 3.

Kandungan Proksimat Protein dan Nutrien Lain serta Profil Asam Amino Jarak Pagar

Saat ini sumber protein pakan akuakultur sebagian besar berasal dari protein hewani yaitu tepung ikan, namun ketersediaan tepung ikan semakin terbatas karena berkurangnya jumlah stok, karena adanya kompetisi pemakaian sehingga harga tepung ikan terus meningkat (Karolina & Justyna, 2025). Substitusi tepung ikan dengan berbagai bahan baku telah dilakukan (Macusi *et al.*, 2023). Jarak pagar merupakan sumber bahan baku nabati dengan kandungan protein dengan profil asam amino esensial cukup lengkap sehingga bisa menjadi alternatif sumber protein untuk pakan akuakultur menggantikan tepung ikan (Cruz *et al.*, 2018). Bungkil biji jarak pagar merupakan limbah ekstraksi dalam produksi bahan minyak biodiesel yang masih mengandung protein tinggi (Ahluwalia *et al.*, 2020). Berikut proksimat kandungan nutrisi tepung isi biji (*seed meal*) dan bungkil biji jarak pagar/limbah ekstraksi minyak dari biji jarak pagar (*kernel meal*) (Tabel 4).

Berdasarkan tabel 4. kandungan protein

pada tepung biji jarak pagar sangat bervariasi. Musa *et al.*, (2018) melaporkan kandungan protein tepung biji jarak pagar hanya $29,26 \pm 0,74\%$, sedangkan temuan lainnya seperti Jimoh, *et al.*, (2020) dan Michael *et al.*, (2019) menemukan kandungan kadar protein biji jarak pagar masing-masing $33,96-34,72\%$ dan $37,68 \pm 0,01\%$. Berbeda dengan temuan-temuan tersebut, Okomoda *et al.*, (2021), Y. Li *et al.*, (2018) dan Montoya-Mejía *et al.*, (2017) mendapatkan kandungan protein yang lebih tinggi pada tepung biji jarak pagar masing-masing $55,29 \pm 0,39\%$, 58% , dan $55,85 \pm 0,34\%$. Kandungan protein yang bervariasi dari tepung biji jarak pagar disebabkan oleh beberapa faktor yaitu faktor lingkungan jarak pagar tersebut tumbuh, faktor metode ekstraksi minyak dengan proses ekstraksi yang kurang optimal menyisakan banyak minyak pada bungkil dan tepung biji jarak pagar sehingga akan mempengaruhi persentase kandungan protein, faktor kematangan dan proporsi kulit dengan bungkil pada saat panen dengan tingkat kematangan berbeda atau proporsi lebih banyak kulit akan menurunkan persentase protein pada tepung bungkil biji jarak pagar.

Pemanfaatan jarak pagar sebagai bahan baku sumber protein dapat mengurangi buangan limbah dan memberikan nilai tambah dalam penggunaannya sehingga mendorong akuakultur yang ramah lingkungan dan berkelanjutan (Ghosh & Bitra, 2020). Potensi pemanfaatan dalam konteks sumber bahan

Tabel 3. Kandungan senyawa fitokimia tanaman jarak pagar (*J. curcas*)Table 3. Phytochemical contents of Castor Oil Plant (*J. curcas*)

Senyawa Compound	Jatropha curcas (%)					Referensi References
	Daun Leaf	Batang Stem	Akar Root	Getah Latex	Biji Seed	
Alkaloid <i>Alkaloids</i>	0,38	0,50	0,38	-	0,070	Oyetayo & Temenu, 2023
Fenolik <i>Phenolics</i>	38	4,7	2,24	0,48	0,79	Rahu <i>et al.</i> , 2021
Flavonoid <i>Flavonoids</i>	0,23	0,09	2,92	-	1,3	Oyetayo & Temenu, 2023
Karotenoid <i>Carotenoids</i>	-	-	0,35	-	-	Asuk <i>et al.</i> , 2015
Phorbol ester <i>Phorbol esters</i>	-	-	-	-	0,046	Harinder <i>et al.</i> , 2008
Phytic acid <i>Phytic acid</i>	4,5	-	0,89	-	0,094	Michael <i>et al.</i> , 2019
Saponin <i>Saponins</i>	0,43	3,5	0,80	0,75	0,092	Rai <i>et al.</i> , 2023
Steroid <i>Steroids</i>	-	-	0,94	-	-	Asuk <i>et al.</i> , 2015
Tanin <i>Tannins</i>	0,087	0,0049	0,04	0,395	0,151	Ahmed <i>et al.</i> , 2020
Terpenoid <i>Terpenoids</i>	-	-	0,56	-	0,022	Michael <i>et al.</i> , 2019
Tripsin inhibitor <i>Trypsin inhibitors</i>	-	-	-	-	0,425	Michael <i>et al.</i> , 2019

Tabel 4. Kandungan proksimat nutrisi tanaman jarak pagar (*J. curcas*)Table 4. Proximate nutrient composition of Castor Oil Plant (*J. curcas*)

Protein kasar (%) <i>Crude protein (%)</i>	Lemak (%) <i>Fat (%)</i>	Abu (%) <i>Ash (%)</i>	Serat kasar (%) <i>Crude fiber (%)</i>	Air (%) <i>Water (%)</i>	BETN (%) <i>NFE (%)</i>	Referensi References
55,29±0,39	9,45±0,50	8,9±0,12	8,59±0,22	1,79±0,02	15,96±0,55	¹ Okomoda <i>et al.</i> , 2021
37,68±0,01	42,36±0,01	3,27±0,01	3,40±0,00	6,50	6,79±0,03	² Michael <i>et al.</i> , 2019
58	1,4	9,33	3,6	10	17,67	¹ Y. Li <i>et al.</i> , 2018
55,85±0,34	3,56±0,08	9,67±0,06	5,54±0,34		25,38	² Montoya-Mejía <i>et al.</i> , 2017
29,26±0,74	46,07±0,40	5,43±0,13	5,02±0,09	2,14±0,07	12,08	² Musa <i>et al.</i> , 2018
33,96-34,72	19,03-19,43	4,25- 6,09	10,16-13,11	3,80	24,01- 27,64	² Jimoh, <i>et al.</i> , 2020

Keterangan: BETN = Bahan Ekstrak Tanpa Nitrogen, ¹ = kandungan proksimat nutrisi isi biji jarak pagar (cangkang biji dikupas);
² = kandungan bungkil biji jarak pagar/limbah ekstraksi minyak dari biji jarak pagar (tanpa kupas cangkang)

Note: NFE = Nitrogen Free Extract, ¹ = proximate nutrient content of kernel meal (seed shell removed); ² = nutrient content of seed meal/oil extraction residue from kernel meal (with shell intact)

baku pakan akuakultur masih terbatas pada aspek bahan baku sumber protein dikarenakan untuk pemanfaatan sebagai sumber lemak akan ada komplikasi persaingan pemanfaatan dan ketersediaan karena minyak jarak pagar merupakan salah satu sumber utama bahan baku biodiesel.

Profil Asam Amino

Kandungan protein jarak pagar telah dilaporkan oleh Okomoda *et al.*, (2021) dan Li *et al.*, (2018) berkisar 55-58%, dengan profil

asam amino esensial yang relatif lengkap. Profil asam amino disajikan pada Tabel 5.

Beberapa hasil penelitian pada tabel 5. menunjukkan bahwa pada jarak pagar jumlah kandungan asam amino nya tinggi dan jenis asam amino esensialnya lengkap, hal ini menggambarkan bahwa kualitas protein pada jarak pagar berkualitas baik. Namun jumlah kandungan dari masing-masing jenis asam amino beberapa hasil penelitian bervariasi seperti yang ditunjukkan pada Tabel 5. hal tersebut berhubungan dengan kandungan protein yang juga bervariasi pada Tabel 4,

Tabel 5. Profil asam amino esensial dan non esensial pada tanaman jarak pagar (*J. curcas*)
Table 5. Essential and non-essential amino acid profile of Castor Oil Plant (*J. curcas*)

Kandungan (%) Content					
Asam amino esensial Essential amino acid					
Arginin <i>Arginine</i>	7,28	10,31	10	8,07	6,24
Histidin <i>Histidine</i>	1,63	2,01	3,15	2,39	4,04
Isoleusin <i>Isoleusine</i>	2,61	3,47	3,77	6,34	5,13
Leusin <i>Leucine</i>	3,83	5,67	6,41	9,28	8,86
Lisin <i>Lysine</i>	1,91	2,14	2,45	4,43	5,85
Metionin <i>Methionine</i>	0,66	1,52	1,48	1,44	2,65
Fenilalanin <i>Phenilalanin</i>	2,09	3,88	4,25	5,81	5,00
Treonin <i>Threonine</i>	1,98	2,95	3,19	4,56	3,13
Triptofan <i>Tryptophan</i>	0,71	-	0,98	-	5,68
Valin <i>Valine</i>	2,07	3,84	5,91	1,21	7,82
Asam amino non esensial Non-essential amino acid					
Alanin <i>Alanine</i>	2,66	3,76	4,32	-	-
Asam Aspartat <i>Aspartic Acid</i>	4,62	7,96	0,80	-	-
Sistein <i>Cysteine</i>	0,38	1,22	0,37	-	-
Asam glutamat <i>Glutamic Acid</i>	8,05	11,61	11,05	-	-
Glisin <i>Glycine</i>	2,34	3,53	0,40	-	-
Prolin <i>Proline</i>	2,24	3,27	4,80	-	-
Serin <i>Serine</i>	2,44	3,40	4,22	-	-
Tirosin <i>Tyrosine</i>	1,94	2,98	2,49	9,34	-
Referensi <i>References</i>	Li <i>et al.</i> , 2018	Zhao <i>et al.</i> , 2018	Nepal <i>et al.</i> , 2018	Rodríguez- González <i>et al.</i> , 2018	Michael <i>et al.</i> , 2019

dengan bervariasinya jumlah kandungan protein maka akan diikuti dengan nilai kandungan asam amino yang juga bervariasi karena asam amino merupakan turunan dari protein atau senyawa asam amino merupakan penyusun protein sehingga ketika jumlah protein berbeda maka jumlah masing-masing asam amino penyusunnya juga akan bervariasi atau berbeda. Dapat dinyatakan bahwa faktor-faktor yang mempengaruhi perbedaan atau variasi kandungan protein bahan merupakan faktor yang sama dengan penyebab dari kandungan asam amino yang bervariasi. meskipun kandungan asam amino

tersebut bervariasi nilai kandungan tersebut telah memenuhi nilai kebutuhan asam amino esensial pada ikan dan krustase (Xing *et al.*, 2024). Profil kandungan jumlah dan jenis asam amino pada bahan baku sangat penting dalam menentukan kelayakannya sebagai bahan baku sumber protein pakan akuakultur.

Potensi jarak pagar sebagai sumber protein didukung juga oleh hasil penelitian Nepal *et al.*, (2018) bahwa hasil isolat protein dari jarak pagar dibandingkan dengan isolat protein kedelai menunjukkan jika nilai biologis nutrient jarak pagar dapat bersaing sebagai bahan baku pengganti sumber protein bahan baku pakan

konvensional seperti tepung ikan ataupun tepung kedelai, namun kandungan *methionine* yang relatif rendah akan menjadi faktor pembatas sehingga diperlukan kombinasi bahan baku sumber protein yang kandungan *methionine* tinggi atau dapat juga dengan penambahan bahan asam amino *methionine* untuk melengkapinya (Phasukarratchai *et al* 2012.; Nunes & Masagounder, 2022; Wang *et al.*, 2023).

RISET TANAMAN JARAK PADA AKUAKULTUR

Pemanfaatan berbagai bagian tanaman jarak, seperti daun, buah, batang, dan akar, menunjukkan potensi besar untuk dikembangkan dalam akuakultur karena kandungan senyawa bioaktifnya, antara lain tanin, flavonoid, alkaloid, dan saponin. Senyawa-senyawa ini memiliki fungsi penting sebagai antioksidan, antibakteri, dan imunostimulan yang berperan dalam meningkatkan kesehatan organisme akuatik. Secara lebih spesifik, bagian tanaman jarak mengandung senyawa aktif yang berbeda, daun umumnya kaya akan

flavonoid dan saponin yang berfungsi sebagai imunostimulan (Arifin *et al.*, 2017). Buah dan bijinya mengandung alkaloid serta minyak yang bersifat antibakteri, sedangkan batang dan akar cenderung menyimpan tannin serta senyawa fenolik yang berperan sebagai antioksidan alami (Rahu *et al.*, 2021). Beberapa peneliti telah melaporkan tanaman jarak termasuk biji dan daun yang diolah melalui metode fermentasi, ekstraksi minyak, dan detoksifikasi secara efektif menurunkan kandungan senyawa antinutrisi sehingga ketika diaplikasikan aman untuk ikan sebagai bahan aditif pada ikan maupun udang (Takwin *et al.*, 2023). Selain itu ekstrak jarak pagar telah dilaporkan efektif dalam menekan pertumbuhan bakteri patogen seperti *Vibrio* sp, yang merupakan penyebab penyakit dalam budidaya udang (Takwin *et al.*, 2022). Pemanfaatan Jarak pagar juga dapat meningkatkan performa pertumbuhan dan sistem imun ikan atau udang, sekaligus mendukung praktik budidaya yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Beberapa penelitian terkait pemanfaatan tanaman jarak pagar dalam akukultur dirangkum pada Tabel 6.

Tabel 6. Penelitian tanaman jarak pagar (*J. curcas*) pada akuakultur
Table 6. Selected research on Castor Oil Plant (*J. curcas*) application in aquaculture

Biota <i>Biota</i>	Bagian Tanaman <i>Plant parts</i>	Hasil <i>Result</i>	Referensi <i>References</i>
Ikan Lele (<i>Clarias gariepinus</i>)	Detoksifikasi biji tanaman jarak pagar <i>Jatropha curcas seed detoxification</i>	Detoksifikasi menggunakan 92% etanol + autoclaving menurunkan antinutrisi dan meningkatkan bobot ikan hingga 20,49 g. <i>Detoxification using 92% ethanol + autoclaving reduces antinutrients and increases fish weight by up to 20.49 g.</i>	Abbas <i>et al.</i> , 2022
	Tepung biji tanaman jarak pagar panggang <i>Roasted Jatropha curcas seed meal</i>	Panggang selama 20 menit meningkatkan nilai gizi, performa pertumbuhan, kesehatan jaringan, serta menurunkan biaya produksi ikan. <i>Roasting for 20 minutes improves nutritional value, growth performance, tissue health, and reduces fish production costs.</i>	Musa <i>et al.</i> , 2021
	Biji tanaman jarak pagar didetoksifikasi <i>Jatropha curcas seeds detoxified</i>	Perendaman selama 72 jam meningkatkan komposisi nutrisi, pertumbuhan, kesehatan darah dan jaringan ikan lele. <i>Soaking for 72 hours improves the nutritional composition, growth, blood health, and tissue of catfish.</i>	Okomoda <i>et al.</i> , 2021

Biota <i>Biota</i>	Bagian Tanaman <i>Plant parts</i>	Hasil <i>Result</i>	Referensi <i>References</i>
Ikan Lele (<i>Clarias gariepinus</i>)	Fermentasi biji tanaman jarak pagar <i>Jatropha curcas seed fermentation</i>	Metode fermentasi dan hidrotermal meningkatkan nilai gizi, performa pertumbuhan dan kesehatan. <i>Fermentation and hydrothermal methods improve nutritional value, growth performance, and health.</i>	Okomoda <i>et al.</i> , 2020
	Detoksifikasi biji tanaman jarak pagar <i>Jatropha curcas seeds detoxified</i>	Penambahan biji tanaman jarak pagar terdetoksifikasi dalam pakan menurunkan pertumbuhan dan kelangsungan hidup ikan seiring peningkatan dosis. <i>The addition of detoxified Jatropha curcas seeds in feed reduced fish growth and survival as the dose increased.</i>	Muhammad <i>et al.</i> , 2017
	Tepung biji tanaman jarak pagar <i>Jatropha curcas seed meal</i>	Ikan mampu mentoleransi tanaman jarak pagar yang didetoksifikasi hingga 13% (50% pengganti tepung ikan) tanpa menurunkan pertumbuhan dan pemanfaatan nutrisi. <i>Fish can tolerate detoxified Jatropha curcas up to 13% (50% fish meal replacement) without compromising growth and nutrient utilization.</i>	Solomon <i>et al.</i> , 2016
Ikan Mas (<i>Cyprinus carpio</i>)	Larutan daun tanaman jarak pagar <i>Jatropha curcas leaf extract</i>	Persentase daya tetas telur tertinggi terdapat pada perlakuan dengan larutan 4 g L ⁻¹ sebesar 86,6%. <i>The highest egg hatchability percentage was found in the treatment with a 4 g L⁻¹ solution, at 86.6%.</i>	Mahyuddin <i>et al.</i> , 2020
	Tepung biji tanaman jarak pagar didetoksifikasi <i>Jatropha curcas seed meal detoxified</i>	Ikan dengan pakan protein nabati tanaman jarak pagar maupun protein ikan menunjukkan laju metabolisme dan pertumbuhan setara. <i>Fish fed with plant-based protein from Jatropha curcas or fish protein showed equivalent metabolic rates and growth.</i>	Kumar <i>et al.</i> , 2010
	Biji tanaman jarak pagar <i>Jatropha curcas seeds</i>	Dosis optimal tanaman jarak pagar adalah 597 ppm dengan LT ₅₀ paling efektif. <i>The optimum dose of Jatropha curcas is 597 ppm with the most effective LT₅₀.</i>	Nurhidayanti, 2020
	Tepung biji tanaman jarak pagar panggang <i>Roasted Jatropha curcas seed meal</i>	Bungkil tanaman jarak pagar yang dipanggang selama 5 menit dapat menggantikan hingga 40% bungkil kedelai dalam pakan nila tanpa menurunkan pertumbuhan dan efisiensi ekonomi. <i>Roasted Jatropha curcas meal for 5 minutes can replace up to 40% of soybean meal in tilapia feed without reducing growth and economic efficiency.</i>	Jimoh <i>et al.</i> , 2020
	Tepung biji tanaman jarak pagar <i>Jatropha curcas seed meal</i>	Substitusi kedelai dengan tanaman jarak pagar hingga 100% meningkat lipid tubuh, akan tetapi menurunkan sedikit SGR. <i>Substituting soybeans with up to 100% Jatropha curcas increased body lipids, but slightly decreased SGR.</i>	Krome <i>et al.</i> , 2016
	Phorbol ester tanaman jarak pagar <i>Jatropha curcas phorbol ester</i>	Fermentasi tepung tanaman jarak pagar 3% menghasilkan SR 100%, sedangkan tanpa fermentasi hanya SR 50%. <i>Fermentation of 3% Jatropha curcas flour produces 100% SR, while without fermentation it only produces 50% SR.</i>	De-Castro, 2010

Biota Biota	Bagian Tanaman Plant parts	Hasil Result	Referensi References
Ikan Rohu (<i>Labeo rohita</i>)	Biji tanaman jarak pagar didetoksifikasi <i>Jatropha curcas</i> seeds detoxified	Substitusi protein kedelai dengan biji tanaman jarak pagar meningkatkan imunitas ikan rohu tanpa efek negatif darah dan histologi. <i>Substituting soy protein with Jatropha curcas seeds boosts the immunity of rohu fish without any negative effects on blood and histology.</i>	Fawole <i>et al.</i> , 2023
	Biji tanaman jarak pagar fermentasi <i>Fermented Jatropha curcas</i> seeds	Biji tanaman jarak pagar fermentasi dapat menggantikan protein kedelai pada pakan rohu tanpa efek negatif kesehatan. <i>Fermented Jatropha curcas kernel meal can replace soy protein in Labeo rohita feed without any negative health effects.</i>	Phulia <i>et al.</i> , 2017
Ikan Tawes (<i>Barbonymus gonionotus</i>)	Ekstrak daun tanaman jarak pagar <i>Jatropha curcas</i> leaf extract	Ekstrak daun tanaman jarak pagar meningkatkan daya tetas telur 84,00% dan kelangsungan hidup ikan tawes 85,24%. <i>Jatropha curcas leaf extract increases egg hatchability by 84.00% and the survival rate of tawes fish by 85.24%</i>	Rusda <i>et al.</i> , 2023
	Ekstrak daun tanaman jarak pagar <i>Jatropha curcas</i> leaf extract	Ekstrak daun tanaman jarak pagar meningkatkan SR 88,3%, THC $24,46 \times 10^6$ sel mL ⁻¹ , AF 77,25%, serta menekan TBC 6×10^8 CFU mL ⁻¹ dan TVC $0,56 \times 10^6$ CFU mL ⁻¹ . <i>Jatropha curcas leaf extract increased SR by 88.3%, THC by 24.46×10^6 cells mL⁻¹, AF by 77.25%, and suppressed TBC by 6×10^8 CFU mL⁻¹ and TVC by 0.56×10^6 CFU mL⁻¹</i>	Takwin <i>et al.</i> , 2023
Udang Vaname (<i>Litopenaeus vannamei</i>)	Biji tanaman jarak pagar <i>Jatropha curcas</i> seeds	Kombinasi 18,75% silase ikan + 39,75% tanaman jarak pagar menggantikan tepung ikan dan meningkatkan pertumbuhan serta kelangsungan hidup udang. <i>A combination of 18.75% fish silage + 39.75% Jatropha curcas replaced fish meal and improved shrimp growth and survival.</i>	Rodríguez-González <i>et al.</i> , 2018
	Biji tanaman jarak pagar <i>Jatropha curcas</i> seeds	Tepung biji tanaman jarak pagar menggantikan tepung ikan, meningkatkan pertumbuhan dan nutrisi tubuh. <i>Jatropha curcas kernel meal replaces fish meal, improving growth and nutrition.</i>	Harter <i>et al.</i> , 2011

Kecernaan Tanaman Jarak Pagar

Kecernaan merupakan salah satu aspek penting dalam pemilihan bahan baku pakan akuakultur. Nilai kecernaan suatu bahan baku menggambarkan seberapa besar bahan tersebut mampu dicerna oleh organisme ikan untuk kemudian dapat diserap melalui usus dan digunakan untuk kepentingan metabolisme, pembentukan sel tubuh dan jaringan serta aktivitas imun (Mello *et al.*,

2025), jika suatu bahan baku tidak tercerna akan terbuang sebagai feses ke lingkungan menjadi limbah (Barbosa *et al.*, 2024). Berikut beberapa hasil Kecernaan tepung bungkil biji jarak pagar tabel 7.

Studi kecernaan bungkil biji jarak pagar pada ikan di Tabel 7. menunjukkan perlakuan pemanasan 5 menit menghasilkan nilai kecernaan bahan baku hingga $80,83 \pm 2,61\%$, kecernaan protein $87,72 \pm 0,52\%$, kecernaan lemak $88,09 \pm 0,47\%$ dan kecernaan energi

Tabel 7. Kecernaan tepung bungkil biji tanaman jarak pagar (*J. curcas*)
Table 7. Digestibility of Castor Oil Plant (*J. curcas*) meal

Metode perlakuan tanaman jarak pagar <i>Jatropha curcas treatment method</i>	Ikan uji <i>Fish test</i>	Nilai kecernaan (%) <i>Digestibility value (%)</i>				Referensi <i>References</i>
		Bahan <i>Dry matter</i>	Protein <i>Proteint</i>	Lemak <i>Fat</i>	Energi <i>Energy</i>	
Pemanggangan 5' <i>Roasting for 5 minutes</i>	Nila (<i>Oreochromis niloticus</i>)	80,83±2,61	87,72±0,52	88,09±0,47	85,86±1,68	Jimoh, <i>et al.</i> , 2020
Hexane 1,5/10 p/v	Nila (<i>Oreochromis niloticus</i>)	73,0±1,7	87,9±0,7	-	-	Montoya-Mejía <i>et al.</i> , 2017
90% ethanol (Rasio 1: JP 10)	Rohu (<i>Labeo rohita</i>)	87,64 ± 0,62	89,80± 0,44	81,25 ± 1,57	-	Fawole <i>et al.</i> , 2018
Hexane + etanol	Nila (<i>Oreochromis niloticus</i>)	73,96±3,13	91,39±1,14	-	-	Flora <i>et al.</i> , 2023

85,86±1,68% pada ikan nila (Jimoh, *et al.*, 2020). Hasil tersebut didukung oleh Montoya-Mejía *et al.*, (2017) yang melaporkan bahwa perlakuan Hexane 1,5/10 p/v menunjukkan nilai kecernaan protein yang hampir sama 87,9±0,7% sedangkan kecernaan bahan 73,0±1,7%. Flora *et al.*, (2023) melaporkan bahwa penggunaan bungkil jarak pagar yang diekstruksi meningkatkan kecernaan protein hingga 80% dibanding tanpa perlakuan. Proses detoksifikasi melalui perlakuan biologi, fisik dan kimia terbukti dapat menurunkan kadar anti nutrisi bahan tersebut sehingga meningkatkan nilai kecernaan bahan dan kecernaan protein. Kecernaan bahan baku juga dapat di tingkatkan melalui aplikasi enzim spesifik terhadap jenis anti nutrisi tertentu seperti yang telah dilakukan oleh (Krome *et al.*, 2016), menemukan bahwa aplikasi enzim phytase menurunkan kandungan bahan anti nutrisi pitat hingga 56% sehingga meningkatkan kecernaan mineral. Berberapa hasil studi tersebut menunjukkan nilai kecernaan yang cukup tinggi pada Jarak pagar sehingga sangat layak untuk digunakan sebagai sumber protein pakan akukultur.

Pertumbuhan Ikan dan Udang

Pertumbuhan organisme budidaya menjadi salah satu parameter penting dalam mengukur

keberhasilan pemilihan bahan baku sumber protein pada pakan ikan. Menurut Takwin dan Pratama, (2025), penggunaan jarak pagar dapat meningkatkan pertumbuhan ikan dan udang. Beberapa kajian penggunaan jarak pagar tersaji pada Tabel 8.

Penelitian terkait inklusi tepung biji jarak pagar pada pakan akukultur Tabel 8. menunjukkan hasil yang berbeda, tergantung pada tingkat substitusi, metode detoksifikasi dan jenis bahan pembanding. Jimoh *et al.*, (2024), menemukan bahwa inklusi 25% tepung jarak pagar yang di ekstraksi (80% etanol) sebagai pengganti tepung kedelai pada ikan lele menunjukkan laju pertumbuhan spesifik 1,77±0,04 (g hari⁻¹) lebih tinggi dibanding kontrol tepung kedelai hanya 1,65±0,06 (g hari⁻¹) selain itu efisiensi pakan pada perlakuan jarak pagar manunjukkan nilai rasio konversi 1,19±0,25 lebih baik dibandingkan kontrol tepung kedelai 1,30±0,18 hasil ini menunjukkan efektivitas penghilangan anti nutrisi melalui proses tersebut. Perlakuan tepung bungkil biji jarak pagar dengan perendaman selama 72 jam dibandingkan tepung bungkil biji jarak pagar tanpa perlakuan pada ikan lele menunjukan hasil yang lebih baik untuk nilai LPS dan efisiensi pakan, LPS kontrol jarak pagar tanpa perlakuan 0,86±0,05 meningkat menjadi 1,68±0,10 (g hari⁻¹), RKP kontrol dari 3,16±0,14 menjadi

Table 8. Inklusi tepung tanaman jarak pagar (*J. curcas*)Table 8. Inclusion of Castor Oil Plant (*J. curcas*) meal

Inklusi tepung jarak pagar (%) Inclusion of <i>Jatropha curcas</i> meal (%)					
Inklusi (%) Inclusion (%)	Substitusi Substitution	Metode detoksifikasi Detoxification method	Hasil Result		Referensi References
			LPS SGR	RKP FCR	
25	Tepung kedelai <i>Soybean meal</i>	Ekstraksi <i>Extraction</i>	Kontrol TK. $1,65 \pm 0,06$ dan JP. $1,77 \pm 0,04$ (g hari ⁻¹) Control TK. $1,65 \pm 0,06$ and JP. $1,77 \pm 0,04$ (g day ⁻¹)	Kontrol $1,30 \pm 0,18$ dan JP. $1,19 \pm 0,25$ Control $1,30 \pm 0,18$ and JP. $1,19 \pm 0,25$	Jimoh <i>et al.</i> , 2024
25	Tanpa perendaman <i>Without soaking</i>	Perendaman 72 jam <i>Soaking for 72 hours</i>	Tanpa perendaman $0,86 \pm 0,05$ menjadi $1,68 \pm 0,10$ (g hari ⁻¹) <i>Without soaking $0,86 \pm 0,05$ to $1,68 \pm 0,10$ (g day⁻¹)</i>	Tanpa perendaman $3,16 \pm 0,14$ menjadi $1,20 \pm 0,56$ <i>Without soaking $3,16 \pm 0,14$ to $1,20 \pm 0,56$</i>	Okomoda <i>et al.</i> , 2021
40	Tepung kedelai <i>Soybean meal</i>	Panas 5' <i>Heating for 5 minutes</i>	Kontrol TK. $0,64 \pm 0,36$ JP. $0,56 \pm 0,06$. (g hari ⁻¹) Control TK. $0,64 \pm 0,36$ JP. $0,56 \pm 0,06$ (g day ⁻¹)	Kontrol TK. $1,18 \pm 0,25$ dan JP. $1,21 \pm 0,0$ Control TK. $1,18 \pm 0,25$ and JP. $1,21 \pm 0,0$	Jimoh <i>et al.</i> , 2020
18,75±39,75 (silase ikan) (Fish silage)	Tepung ikan <i>Fish meal</i>	Perendaman p:v hexane (1,5:10)	LPS Kontrol TI. $1,61 \pm 0,07$, JP.+SI. $1,60 \pm 0,09$ (% hari ⁻¹) LPS Control TI. $1,61 \pm 0,07$, JP.+SI. $1,60 \pm 0,09$ (% day ⁻¹)	-	Rodríguez-González <i>et al.</i> , 2018
20	Tepung kedelai <i>Soybean meal</i>		Kontrol TK. $1,12 \pm 0,01$ JP. $1,21 \pm 0,02$ (g hari ⁻¹) Control TK. $1,12 \pm 0,01$, JP. $1,21 \pm 0,02$ (g day ⁻¹)	Kontrol TK. $1,87 \pm 0,01$ dan JP. $1,67 \pm 0,03$ Control TK. $1,87 \pm 0,01$ and JP. $1,67 \pm 0,03$	Phulia <i>et al.</i> , 2017

Keterangan: LPS= Laju pertumbuhan spesifik; RKP= Rasio konversi pakan; JP=Tanaman jarak pagar, TK=Tepung Kedelai.TI=Tepung ikan, SI= Silase Ikan SGR= Specific growth rate, FCR=Feed conversion ratio

Note: LPS = Specific growth rate; RKP = Feed conversion ratio; JP = *Jatropha curcas*; TK = Soybean meal; TI = Fish meal; SI = Fish silage SGR = Specific growth rate; FCR = Feed conversion ratio

lebih efisien $1,20 \pm 0,56$ setelah perlakuan perendaman (Okomoda *et al.*, 2021). Sebaliknya penggantian dalam jumlah yang tinggi hingga 40% tepung kedelai dengan tepung jarak pagar yang dipanaskan selama lima menit pada ikan nila menunjukkan performa laju pertumbuhan

spesifik $0,56 \pm 0,06$ (% hari⁻¹) nilai lebih kecil di banding kontrol tepung kedelai $0,64 \pm 0,36$ (% hari⁻¹), begitu pula dengan nilai RKP kontrol $1,18 \pm 0,25$ lebih baik dari perlakuan jarak pagar $1,21 \pm 0,0$, sebagaimana yang dilaporkan oleh (Jimoh, *et al.*, 2020). Jika dibandingkan dengan

penggunaan protein nabati lain nya oleh penelitian Maundu *et al.*, (2024) penggunaan tepung bunga matahari dan tepung biji kapuk hanya dapat digunakan hingga 25%. Penelitian Workagegn *et al.* (2013), juga menunjukkan bahwa penggunaan 10% tepung jarak pagar yang dipanaskan dapat meningkatkan efisiensi pakan dan pertumbuhan ikan, memperkuat dugaan bahwa penggunaan dosis rendah lebih aman dan efektif digunakan. Sementara itu Rodríguez-González *et al.*, (2018), melaporkan kombinasi 18,75% tepung jarak pagar dan 39,75% silase ikan sebagai pengganti tepung ikan pada udang vaname menghasilkan laju pertumbuhan spesifik $1,60 \pm 0,09$ (% hari⁻¹) sama dengan kontrol tepung ikan $1,61 \pm 0,07$ (% hari⁻¹), hal ini menunjukkan bahwa kombinasi antara protein nabati dan hewani dapat saling melengkapi masing-masing nutrien bahan. Perlakuan fermentasi tepung bungkil pada ikan rohu oleh Phulia *et al.*, (2017) menunjukkan laju pertumbuhan $1,21 \pm 0,02$ (g hari⁻¹) lebih tinggi dibanding laju pertumbuhan spesifik kontrol tepung kedelai $1,12 \pm 0,01$ (g hari⁻¹) dan efisiensi pakan untuk perlakuan tepung bungkil jarak pagar lebih efisien dengan RKP $1,67 \pm 0,03$ dibanding kontrol tepung kedelai $1,87 \pm 0,01$. secara umum penggunaan tepung jarak pagar terdetoksifikasi untuk pakan akuakultur dapat menggantikan tepung kedelai dan tepung ikan berkisar antara 10% hingga 40% dengan memberikan tingkat pertumbuhan ikan atau udang yang sama dengan panggunaan sumber bahan yang selama ini digunakan dalam pakan akuakultur.

Imunostimulan

Jarak pagar memiliki banyak manfaat termasuk kesehatan manusia dan hewan. Laporan dari Oskoueian *et al.* (2021) bahwa jarak pagar memiliki berbagai aktivitas biologis seperti antioksidan, antibakteri dan anti inflamasi. Secara tradisional jarak pagar dapat dijadikan sebagai obat. Daun jarak pagar telah digunakan sebagai zat antiseptik selama proses persalinan, bagian akar juga digunakan untuk mengobati penyakit menular seksual,

dan bijinya digunakan untuk mengobati penyakit kulit (Adeyemo & Oluyede, 2015). Akar jarak pagar diketahui berkhasiat sebagai penawar gigitan ular, sementara minyaknya telah lama dimanfaatkan dalam pengobatan berbagai penyakit kulit. Kandungan asam linoleat (C18:2) pada jarak pagar mencapai 36%, dengan konsentrasi tertinggi terdapat pada daun dan terendah pada akar, sehingga berpotensi digunakan dalam perawatan kulit (Syed *et al.*, 2013).

Jarak pagar juga telah digunakan secara luas dengan memanfaatkan kandungan senyawa bioaktif. Seluruh bagian tanaman ini, seperti daun, kulit batang, dan cangkang, kaya akan flavonoid serta polifenol. Kedua senyawa tersebut berperan penting sebagai antioksidan, pelindung terhadap reaksi alergi, penghambat agregasi trombosit, antiinflamasi, antimikroba, penangkal toksisitas hati, serta pencegah tukak lambung, infeksi virus, dan perkembangan tumor (Syed *et al.*, 2013). Ekstrak metanol dapat digunakan sebagai kardiovaskular pada hewan. Getah yang dihasilkan dari batang bermanfaat untuk mengendalikan pendarahan luka, getah ini mengandung alkaloid seperti *curcain*, *jatrophine* dan *Jatropha* yang dapat juga digunakan sebagai antikanker. Selain itu, beberapa senyawa diterpenoid dari jarak pagar menunjukkan potensi terapeutik sebagai antihipertensi, antiretroviral, antiinflamasi, dan antibakteri. Tidak hanya itu, senyawa ini juga memiliki kemungkinan berfungsi sebagai halusinogen, antioksidan tambahan, maupun pemanis alami (Saeed *et al.*, 2017). Penelitian terkait jarak pagar sebagai dapat dilihat pada Tabel 9.

Tanaman jarak pagar memiliki efektivitas tinggi sebagai antibakteri patogen serta berperan dalam menjaga kesehatan organisme akuatik, termasuk ikan dan udang. Hasil penelitian secara *in vitro* bahwa ekstrak daun jarak pagar efektif menghambat pertumbuhan bakteri patogen perairan, seperti *Aeromonas hydrophila* pada lingkungan air tawar dan *V. harveyi* pada perairan payau, dengan zona hambat sebesar $11,3 \pm 0,2$ mm (Arifin *et al.*,

Tabel 9. Tanaman jarak pagar (*J. curcas*) sebagai imunostimulan udang dan ikan
 Table 9. Castor Oil Plant (*J. curcas*) as an immunostimulant of shrimp and fish

Bagian Tanaman Plant parts	Biota Biota	Perlakuan Terbaik Best result	Hasil Result	Referensi References
Ekstrak tanaman jarak pagar <i>Jatropha curcas</i> extract	Udang Vaname (<i>Litopenaeus vannamei</i>)	Pakan dengan 3% ekstrak tanaman jarak pagar dan diinfeksi <i>V. harveyi</i> <i>Feed with 3% Jatropha curcas extract and infected with V. harveyi</i>	Total hemocyte count mencapai $22,9 \times 10^6$ sel mL^{-1} . Nilai aktivitas fagositosis sebesar 63,7% dan survival rate (SR) sebesar 69,7%. <i>The total hemocyte count reached 22.9×10^6 cells mL^{-1}. The phagocytic activity was 63.7%, and the survival rate (SR) was 69.7%.</i>	Takwin <i>et al.</i> , 2022
Ekstrak tanaman jarak pagar <i>Jatropha curcas</i> extract	Udang Vaname (<i>Litopenaeus vannamei</i>)	Pakan dengan 3% ekstrak tanaman jarak pagar dan di infeksi <i>V. parahaemolyticus</i> <i>Feed with 3% Jatropha curcas extract and infected with V. parahaemolyticus</i>	Tingkat kelangsungan hidup (SR) sebesar 88,3%, dan total hemocyte count (THC) tertinggi sebesar $24,46 \times 10^6$ sel mL^{-1} . Nilai aktivitas fagositosis sebesar 77,25%. <i>The survival rate (SR) was 88.3%, and the highest total hemocyte count (THC) was 24.46×10^6 cells mL^{-1}. The phagocytic activity was 77.25%.</i>	Takwin <i>et al.</i> , 2023
Fermentasi biji tanaman jarak pagar <i>Fermentation of Jatropha curcas seeds</i>	Ikan Nila (<i>Oreochromis niloticus</i>)	Biji tanaman jarak pagar difermentasi selama 21 hari setelah melalui proses hidrotermal (PRT T). <i>Jatropha curcas seeds were fermented for 21 days after undergoing a hydrothermal process (PRT T).</i>	Nilai parameter hematologi pada perlakuan TRT 5 merupakan yang terbaik hemoglobin $9,61 \pm 0,24$ g dL^{-1} , sel darah merah $1,51 \times 10^6$ sel mm^{-3} , dan kelangsungan hidup 96,67%. <i>The hematological parameter values in treatment TRT 5 were the best, with hemoglobin at 9.61 ± 0.24 g dL^{-1}, red blood cells at 1.51×10^6 cells mm^{-3}, and survival rate of 96.67%.</i>	Okomoda <i>et al.</i> , 2020

2017). Penelitian secara *in vivo* yang dilakukan oleh Takwin *et al.*, (2023) melaporkan bahwa penggunaan ekstrak daun jarak pagar mampu menekan pertumbuhan *v. parahaemolyticus*, meningkatkan respons imun, serta memperbaiki tingkat kelangsungan hidup udang vaname yang terinfeksi vibriosis. Selanjutnya, Okomoda *et al.*, (2020) melaporkan bahwa biji jarak pagar yang difermentasi dapat meningkatkan respons imun ikan. Penggunaan biji jarak pagar pada ikan juga tidak menimbulkan efek toksik, asalkan dilakukan perlakuan pendahuluan berupa pemangangan, detoksifikasi, atau fermentasi. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian Phulia *et al.*, (2017) dan Fawole *et al.*, (2022) bahwa biji jarak pagar yang telah melalui proses perlakuan, seperti detoksifikasi atau fermentasi, terbukti aman untuk dikonsumsi ikan rohu karena tidak memberikan efek negatif terhadap kesehatan, termasuk profil darah, histologi organ (hati dan usus), maupun tingkat kelangsungan hidup. Selain itu, penggunaannya juga dapat meningkatkan pertumbuhan, efisiensi pemanfaatan pakan, serta respons imun ikan, sehingga berpotensi digunakan sebagai alternatif sumber protein nabati pengganti tepung kedelai atau tepung ikan.

ANTI NUTRISI DAN TOKSISITAS SERTA METODE DETOKSIFIKASI

Jarak pagar mengandung zat bersifat toksik dan antinutrisi yang dapat memberikan efek negatif bahkan kematian terhadap organisme akuakultur. Penggunaan Jarak pagar secara langsung tanpa perlakuan detoksifikasi dan dalam jumlah yang tinggi dipakan menyebabkan toksisitas dan anti nutrisi pada level yang tidak aman dan masih aktifnya bahan tersebut akan berefek negatif terhadap organisme ikan. Penelitian Nurhidayanti (2020), menunjukkan batas dosis 200 ppm belum memberikan efek berbahaya namun pada paparan dosis 551,271 ppm bubuk Jarak pagar selama 24 jam dapat menyebabkan kematian sebanyak 50% benih ikan nila (*Oreochromis niloticus*). Curcin dan Phorbol ester merupakan zat paling beracun pada Jarak pagar, sehingga perlu dihilangkan dengan cara detoksifikasi untuk bisa menurunkan efek negatifnya (Shukla *et al.*, 2015). Selain itu, Jarak pagar mengandung pitat yang merupakan zat anti nutrisi bagi ikan (Baros *et al.*, 2024). Berikut kandungan anti nutrisi jarak pagar pada Tabel 10.

Perlakuan detoksifikasi pada perlakuan biologis, perlakuan fisik, dan kimia pada tabel 10. telah terbukti secara signifikan dapat

Table 10. Kandungan anti nutrisi tanaman jarak pagar (*J. curcas*)
Table 10. Anti-nutritional content of Castor Oil Plant (*J. curcas*)

¹ Pitat ¹ Phytic	¹ Tanin ¹ Tannin	² Inhibitor Trypsin ² Trypsin inhibitor	² Lektin ² Lectin	² Saponin ² Saponin	² Phorbol ester ² Phorbol ester	² Asam pitat ² Phytic acid	² Oksalat ² Oxalate	² Glikosida sianogenik ² Cyanogenic glycoside	Referensi References
0,52		0,16	0,43	0,03	0,199	-	-	-	Ghosh & Bitra, 2020
8,80±0,01		1,47±0,04	-	-	-	17,44±0,23	1,40±0,02	1,07±0,01	Okomoda <i>et al.</i> , 2021
0,82		0,20	0,52	0,10	0,959	-	-	-	Ghosh <i>et al.</i> , 2021
-	0,051	0,425	-	0,092	-	0,094	0,067	0,061	Michael <i>et al.</i> , 2019
9,10		0,21	0,34	2,47	0,013				Saetae <i>et al.</i> , 2011

Keterangan : angka 1 superskrip menunjukkan satuan g 100g⁻¹ dan angka 2 superskrip menunjukkan satuan mg g⁻¹
Note: The superscript number 1 indicates the unit g 100g⁻¹ and the superscript number 2 indicates the unit mg g⁻¹

menurunkan zat berbahaya pada Jarak pagar (Abou-Arab *et al.*, 2019). Batas kandungan yang dapat di toleransi pada pakan akuakultur menurut Ghosh *et al.*, (2021) *Phorbol ester* 0,11 mg g⁻¹, *Lectin* 51 mg g⁻¹, *Trypsin inhibitor* 24,8 mg g⁻¹, *Phytate* 0,5 g 100g⁻¹ dan *Saponin* g 100g⁻¹.

Perlakuan Biologis

Perlakuan biologis dengan fermentasi dan enzim merupakan metode yang efektif dilakukan untuk meningkatkan kualitas bahan baku pakan baik pencernaan, nilai nutrisi serta menghilangkan antinutrisi seperti *phorbol ester*, *tannin*, dan *trypsin inhibitor* (Feng *et al.*, 2024). Berikut beberapa hasil penelitian perlakuan fermentasi pada tepung bungkil biji jarak pagar (Tabel 11).

Fermentasi terbukti efektif dalam mengurangi kandungan anti nutrisi dan senyawa toksik pada tepung bungkil biji jarak berdasarkan bukti data Tabel 11. Veerabhadrapa *et al.*, (2014) melaporkan bahwa fermentasi padat dengan *Aspergillus versicolor* CJS-98 secara signifikan mengurangi kadar asam pitat, *phorbol ester*, glikosida siaogenik, lektin, tanin, dan tripsin inhibitor. Temuan ini sejalan dengan Phengnuam & Suntornsuk (2013) yang mmenunjukkan *Bacillus licheniformis* mampu menurunkan kadar *phorbol ester* sebesar 62%, tripsin inhibitor 75% dan fitat 42%. Selanjutnya Handajani *et al.*, (2021) juga mencatat penurunan *phorbol ester* dari 2,97 menjadi 0,625 µg g⁻¹ setelah fermentasi dengan *Aspergillus niger* selama tiga hari. Dukungan diberikan oleh Najjar *et*

Tabel 11. Kandungan anti nutrisi dan zat toksik pada tepung biji tanaman jarak pagar (*J. curcas*) fermentasi
Table 11. Anti-nutritional and toxic contents of fermented Castor Oil Plant (*J. curcas*) kernel meal

Perubahan nilai kandungan Changes in content value						
Anti nutrisi Anti-nutrition	Sebelum Before	Sesudah After	Sebelum Before	Sesudah After	Sebelum Before	Sesudah After
Pitat Phytic	-	-	16,1±1,2 mg g ⁻¹	9,2±0,4 mg g ⁻¹	-	-
Tanin Tannin	0,37%	0,23%	-	-	-	-
Tripsin inhibitor Trypsin inhibitor	697,5 TIU g ⁻¹	12,5 TIU g ⁻¹	23,3±2,2 TIU g ⁻¹	0,3±0,0 TIU g ⁻¹	3,53±0,21 mg g ⁻¹	0,45±0,06 mg g ⁻¹
Lektin Lectin	0,309 mg ml ⁻¹	0,034 mg ml ⁻¹	-	-	6,68±0,17 mg g ⁻¹	1,74±0,16 mg g ⁻¹
Saponin Saponin	-	-	-	-	3,05±0,17%	0,42±0,07%
Phorbol ester Phorbol ester	0,08%	0,01%	119,9±17,9 µg g ⁻¹	39,4±0,6 µg g ⁻¹	19,38±0,38 µg g ⁻¹	4,47±0,48 µg g ⁻¹
Asam pitat Phytic acid	6,08%	1,70%	-	-	-	-
Oksalat Oxalate	0,69%	0,56%	-	-	-	-
Metode fermentasi Fermentation method	Solid State Fermentation (SSF) <i>Aspergillus versicolor</i> CJS-98		<i>Bacillus licheniformis</i>		<i>Mucor circinelloides</i> SCYA25	

Keterangan: TIU= tripsin inhibitor unit
Note: TIU= trypsin inhibitor unit

al., (2014) yang mengidentifikasi kemampuan beberapa fungi lain seperti *Cladosporium* sp., *Paecilomyces* sp. dan *Trichoderma* spp., dalam mengurangi phorbol ester. Secara keseluruhan, hasil-hasil tersebut menegaskan bahwa fermentasi dengan berbagai mikroorganisme efektif untuk mendetoksifikasi tepung bugkil biji jarak pagar dan meningkatkan kualitas nya sebagai bahan baku pakan akuakultur.

Perlakuan Fisik

Perlakuan fisik merupakan salah satu metode detoksifikasi yang dapat dilakukan untuk mengurangi kandungan anti nutrisi dan zat toksik pada tepung bungkil biji jarak pagar. Berikut Tabel 12 yang menyajikan beberapa hasil studi perlakuan fisik.

Perlakuan fisik pada Tabel 12, seperti perebusan dan perendaman air secara efektif mengurangi kadar anti nutrisi dan senyawa toksik pada tepung biji jarak pagar. Musa *et al.*,

(2018) melaporkan perendaman air pada suhu 100°C selama 90 menit dapat menurunkan asam pitat 12,66% menjadi 0,67%, *oxalate* 1,16% menjadi 0,23%, *cyanogenic glycosides* 0,81% menjadi 0,32%, pitat 3,54 % menjadi 0,32% dan *trypsin inhibitor* 3,01% menjadi 0,48%. penurunan ini menunjukkan proses pemanasan dapat memecah dan mendegradasi senyawa anti nutrisi pada suhu tinggi.

Hasil tersebut diperkuat oleh Penelitian Okomoda *et al.*, (2021) Perlakuan perendaman dengan air suling hingga 72 jam. Perlakuan ini dapat mengurangi kadar senyawa anti nutrisi seperti asam pitat 12,29% menjadi 5,82%, *oxalate* 1,15% menjadi 0,41%, *cyanogenic* 0,83% menjadi 0,23%, *phytate* 3,49% menjadi 0,04% dan *trypsin inhibitor* 2,99% turun menjadi 1,91%. Turunnya berbagai kandungan zat-zat anti nutrisi tersebut merubah komposisi prosimat nutrisi Jarak pagar dan dapat meningkatkan nilai pencernaan bahan baku pada ikan.

Tabel 12. Kandungan antinutrisi tepung bungkil biji tanaman jarak pagar (*J. curcas*) perlakuan fisik
Table 12. Anti-nutrient contents of Castor Oil Plant (*J. curcas*) kernel meal produced through physical process

Perubahan nilai kandungan Change of anti-nutritional content						
Anti nutrisi Anti-nutritional	Sebelum Before	Sesudah After	Sebelum Before	Sesudah After	Sebelum Before	Sesudah After
Pitat Phytic	3,54±0,01%	0,45±0,01%	3,49±0,39%	0,04±0,01%	3,42±0,01%	0,40±0,02%
Tripsin inhibitor Trypsin inhibitor	3,01±0,08%	0,30±0,08%	2,99±0,13%	1,91±0,02%	3,13±0,08%	0,79±0,03%
Asam pitat Phytic acid	12,66±0,23%	0,61±0,02%	12,29±0,42%	5,82±0,02%	12,51±0,23%	0,88±0,03%
Oksalat Oxalate	1,16±0,05%	0,11±0,03%	1,15±0,11%	0,41±0,00%	1,24±0,05%	0,19±0,04%
Glikosida siaoogenik Cyanogenic glycosides	0,81±0,05%	0,14±0,03%	0,83±0,34%	0,23±0,02%	0,98±0,05%	0,16±0,02%
Metode perlakuan fisik Physical treatment method	Perebusan air 90'(100°C) Boiling in water for 90 minutes (100°C)		Perendaman air suling 72 jam Soaking in distilled water for 72 hours		Pemanggangan 30'(150°C) Roasting for 30 minutes (150°C)	
Referensi References	Musa <i>et al.</i> , 2018		Okomoda <i>et al.</i> , 2021		Musa <i>et al.</i> , 2021	

Perlakuan Kimia

Perlakuan kimia adalah perlakuan detoksifikasi yang memanfaatkan senyawa kimia sebagai bahan untuk menurunkan anti nutrisi dan zat toksik pada tepung biji jarak pagar. Tabel 13. Menyajikan hasil penelitian detoksifikasi metode kimia.

Perlakuan kimia menunjukkan penurunan kandungan anti nutrisi dan senyawa toksik yang ditunjukkan kan pada tabel 13. Perlakuan dengan perendaman metanol 80% pada rasio 1:2 selama 72 jam dapat menurunkan anti nutrisi *trypsin inhibitor* 95%, mereduksi *phorbol ester* 85% dan *oxalate* hingga 82% (Jimoh *et al.*, 2024). Perendaman dengan etanol/metanol

(50/50) selama 8 jam dapat menurunkan *phorbol ester* sebanyak 97.30% (Guedes *et al.*, 2014). Penggunaan *sodium bikarbonat* dan *sodium hydroxide* dapat menurunkan *phorbol ester* sebanyak 55% dan menghilangkan *curcin* secara total (Elangovan *et al.*, 2013).

Secara keseluruhan, tren penelitian menegaskan bahwa pendekatan biologis merupakan pilihan utama dalam detoksifikasi Jarak pagar untuk aplikasi akuakultur berkelanjutan. Metode fisik dapat berfungsi sebagai perlakuan pendukung, sedangkan metode kimia lebih cocok digunakan dalam uji coba awal di laboratorium, tetapi kurang ideal untuk penerapan jangka panjang dalam skala industri.

Tabel 13. Kandungan antinutrisi tepung bungkil biji tanaman jarak pagar (*J. curcas*) yang diberikan perlakuan kimia
Table 13. Anti-nutritional conten of Castor Oil Plant (*J. curcas*) kernel meal produced through chemical treatments

Perubahan nilai kandungan Changes in content value				
Anti nutrisi Anti-nutrients	Sebelum Before	Sesudah After	Sebelum Before	Sesudah After
Tannin Tannin	-	-	0,74 ± 0,03 g kg ⁻¹	0,21 ± 0,01 g kg ⁻¹
Tripsin inhibitor Trypsin inhibitor	19,33±0,97 TIU g ⁻¹	0,78±0.02 TIU g ⁻¹	26,64 ± 0,54 mg TI g ⁻¹	12,30 ± 0,17 mg TI g ⁻¹
Phorbol ester Phorbol ester	102,40±0,46 µg g ⁻¹	14,40±0,10 µg g ⁻¹	0,274 ± 0,02 mg g ⁻¹	0,012 ± 0,00 mg g ⁻¹
Asam pitat Phytic acid	14,40±0,80 mg g ⁻¹	4,04±0,04 mg g ⁻¹	4,06 ± 0,01 mg g ⁻¹	2,58 ± 0,06 mg g ⁻¹
Oksalat Oxalate	2,42±1,18 mg g ⁻¹	0,42±0,18 mg g ⁻¹		
Alkaloid Alkaloid	2,67±0,16 mg g ⁻¹	0,00±0,00 mg g ⁻¹		
Metode perlakuan kimia Chemical treatment method	Etanol 80%(rasio JP 1:2 etanol) Ethanol 80%(ratio JP 1:2 ethanol)		90% ethanol (rasio 1: JP 10) 90% ethanol (ratio 1: JP 10)	
Referensi References	Jimoh <i>et al.</i> , 2024		Fawole <i>et al.</i> , 2018	

Keterangan : TIU=Unit inhibitor tripsin, TI = Inhibitor Tripsin, JP= jarak pagar
Note: TIU=trypsin inhibitor unit, TI= Tripsin Inhibitor, JP= *Jatropha curcas*

PROSPEK PENGEMBANGAN MASA DEPAN *Jatropha curcas*

Potensi tanaman jarak pagar dalam pengembangan akuakultur berkelanjutan sangat besar, karena mengandung senyawa fitokimia yang berfungsi sebagai aditif pakan alami, agen pengendali patogen, dan *imunostimulan* (Masri *et al.*, 2025). Senyawa ini membantu meningkatkan kesehatan dan daya tahan ikan terhadap penyakit tanpa adanya ketergantungan terhadap bahan kimia sintesis, sehingga mendukung sistem budidaya yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan. Pengembangan bioteknologi, seperti fermentasi dan pengolahan senyawa bioaktif, memungkinkan peningkatan keamanan dan efektivitas penggunaan produk jarak pagar dalam pakan ikan. Selain aspek ekologis, penggunaan jarak pagar juga berpotensi memberikan keuntungan ekonomi bagi petani dan pelaku usaha lokal melalui penyediaan bahan baku pakan yang lebih murah dan bersumber dari produk lokal. Pengelolaan yang tepat terhadap senyawa antinutrisi dan toksin dalam jarak pagar merupakan kunci keberhasilan penggunaannya agar aman dan efektif dalam mendukung keberlanjutan sektor akuakultur. Selama lima tahun terakhir, tren penelitian menekankan pentingnya integrasi antara bioteknologi, formulasi pakan, mikrobiologi, dan teknologi berkelanjutan untuk mengoptimalkan pemanfaatan jarak pagar dalam akuakultur (Liu *et al.*, 2024).

Bioteknologi Molekuler

Dalam kurun lima tahun terakhir, arah penelitian terkait jarak pagar sebagai bahan baku pakan lebih banyak difokuskan pada upaya menurunkan kandungan senyawa toksik, khususnya *phorbol esters*, yang selama ini menjadi hambatan utama dalam pemanfaatannya (Neu *et al.*, 2018; Cao *et al.*, 2025). Program peningkatan varietas rendah toksin dipandang sebagai langkah strategis, karena secara langsung berhubungan erat dengan aspek keamanan pangan serta regulasi internasional

(Ardiyanti & Marfu'ah, 2025). Upaya ini tidak lagi terbatas pada pengembangan konvensional berbasis seleksi genotipe dengan kandungan *phorbol ester* rendah. Saat ini, pendekatan tersebut mulai dilengkapi dengan strategi bioteknologi molekuler yang lebih inovatif (Gangwar & Shankar, 2020).

Salah satu inovasi dalam perbaikan genetik jarak pagar dengan melakukan penerapan teknologi *CRISPR-Cas9* yang memfokuskan pengubahan gen yang memengaruhi jalur biosintesis *phorbol esters* (Liu *et al.*, 2021). Beberapa penelitian menunjukkan bahwa pendekatan ini efektif dalam menurunkan akumulasi metabolit antinutrisi tanpa memengaruhi kandungan nutrisi esensial seperti protein dan asam amino esensial (Kaur *et al.*, 2025). Modifikasi genom bukan lagi sekedar detoksifikasi, melainkan telah berkembang menjadi strategi utama menghasilkan varietas unggul yang memenuhi standar internasional (Hermantara, 2024).

Epigenetik berbasis *CRISPR-Cas9* menunjukkan evaluasi respon toksik pada tingkat genom dan mempercepat pemuliaan varietas Jarak pagar yang aman dikonsumsi (Dai *et al.*, 2021). Integrasi molekuler ini diproyeksikan dapat mempercepat proses pemuliaan varietas *Jatropha curcas* yang aman dikonsumsi dan juga memiliki kandungan nutrisi yang tinggi, sesuai dengan prinsip produksi akuakultur berkelanjutan (Yadav *et al.*, 2025). Seiring dengan semakin ketatnya regulasi internasional terkait bahan baku pakan, keberhasilan strategi ini akan menjadi faktor utama dalam meningkatkan akseptabilitas dan penerapan Jarak pagar sebagai sumber alternatif dalam industri budidaya perikanan (Jimoh *et al.*, 2024).

Fermentasi dan Sinbiotik

Integrasi teknologi fermentasi pada bungkil Jarak pagar menunjukkan peluang strategis dalam formulasi pakan fungsional sektor akuakultur (Okomoda *et al.*, 2020). Fermentasi *Bacillus* sp. dan *Lactobacillus acidophilus* terbukti meningkatkan nutrisi dan menurunkan kadar

phorbol esters (Fajingbesi *et al.*, 2019). Hasil penelitian mengindikasikan bahwa fermentasi dapat meningkatkan bioavailabilitas protein serta degradasi senyawa toksik (Gomes *et al.*, 2022). Hasil ini menegaskan bahwa aplikasi probiotik pada bungkil Jarak pagar memiliki peran ganda, mengurangi toksisitas sekaligus memperkaya nilai nutrisi, serta mendukung kesehatan ikan dan keberlanjutan budidaya (Levi *et al.*, 2022).

Integrasi probiotik Jarak pagar dengan probiotik komersial menghasilkan efek sinergis yang mampu memperkuat respon imun, meningkatkan saluran pencernaan, dan menurunkan risiko infeksi oportunistik (Fauziantaka *et al.*, 2025). Selain itu, fermentasi probiotik berhubungan dengan peningkatan aktivitas enzim pencernaan serta memperbaiki mikrobiota usus, sehingga mendukung pertumbuhan dan efisiensi pakan (Omoikhoje *et al.*, 2024). Aplikasi probiotik pada bungkil *Jatropha* tidak hanya menawarkan solusi teknis untuk mengurangi toksisitas, melainkan juga sebagai strategi holistik yang mendukung kesehatan ikan, produktivitas budidaya ikan dan keberlanjutan industri akuakultur (Efendy *et al.*, 2023).

Secara keseluruhan, Jarak pagar memiliki prospek strategis sebagai bahan baku alternatif dalam akuakultur berkelanjutan. Integrasi inovasi bioteknologi dan konsep pakan sinbiotik menjadikannya sumber yang tidak hanya aman dan bernutrisi tetapi juga mendukung efisiensi produksi dan keamanan pangan, dengan demikian Jarak pagar dapat diposisikan sebagai komoditas masa depan yang berperan penting dalam transisi menuju sistem akuakultur global yang berkelanjutan, ramah lingkungan, dan tangguh terhadap tantangan perubahan iklim.

KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

Jatropha curcas memiliki potensi strategis sebagai sumber protein nabati alternatif dalam pakan akuakultur berkelanjutan. Kandungan proteinnya yang tinggi 55-57% dengan profil asam amino esensial yang lengkap

menjadikannya kompetitif dibandingkan tepung ikan dan kedelai. Selain itu, senyawa bioaktif seperti flavonoid, saponin, dan tanin berfungsi sebagai imunostimulan alami, meningkatkan ketahanan organisme budidaya terhadap penyakit. Berbagai metode detoksifikasi biologis melalui fermentasi mikroba terbukti efektif menurunkan toksisitas *curcin* dan *phorbol esters*, sehingga membuka peluang penerapan Jarak pagar dalam skala industri pakan. Jarak pagar telah dibudidayakan secara komersial dan eksperimental di banyak negara, termasuk Indonesia. Meski tantangan teknis dan ekonomi masih ada, potensi integrasinya ke dalam sistem akuakultur berkelanjutan dan ekonomi sirkular sangat prospektif, terutama jika didukung pengolahan bioteknologi yang menekan kadar toksin. Dengan demikian, Jarak pagar tidak hanya menawarkan solusi terhadap keterbatasan bahan baku impor, tetapi juga mendorong praktik akuakultur ramah lingkungan melalui prinsip ekonomi sirkular dan pemanfaatan limbah menjadi biodiesel serta pupuk organik.

Pemanfaatan *jarak pagar* sebagai bahan baku untuk pakan akuakultur memerlukan langkah strategis yang melibatkan sinergi antara pemerintah, lembaga riset, dan pelaku usaha. Pemerintah berperan penting dalam menetapkan standar mutu dan regulasi nasional terkait penggunaan bahan pakan nabati lokal yang aman, serta memberikan insentif fiskal dan dukungan investasi bagi riset dan pengembangan bahan baku berkelanjutan. Lembaga riset perlu memperkuat kolaborasi multidisipliner dalam bidang nutrisi, toksikologi, mikrobiologi, dan bioteknologi untuk menghasilkan varietas jarak pagar dengan kadar toksin rendah, mengembangkan teknologi fermentasi dan detoksifikasi, serta menyediakan basis data komprehensif terkait komposisi gizi dan keamanan penggunaannya. Sementara itu, pelaku usaha di sektor pakan dan agribisnis perlu berinvestasi dalam teknologi pengolahan modern, membangun rantai pasok lokal yang efisien, serta menerapkan inovasi formulasi pakan sinbiotik berbasis *jarak pagar* guna meningkatkan nilai tambah ekonomi dan

kemandirian bahan baku. Bungkil biji jarak pagar memiliki potensi tinggi sebagai sumber protein alternatif dalam pakan akuakultur. Penggunaannya dapat menggantikan hingga 50% protein dari tepung ikan tanpa menurunkan performa pertumbuhan maupun efisiensi pemanfaatan nutrisi. Dengan demikian, bahan ini berkontribusi terhadap peningkatan efisiensi biaya produksi serta kemandirian bahan baku dalam sistem akuakultur berkelanjutan. Meski memerlukan investasi awal untuk pengolahan dan teknologi fermentasi, biaya tersebut dapat terkompensasi oleh penghematan biaya jangka panjang, peningkatan bahan baku, serta nilai lingkungan positif melalui pengurangan limbah dan jejak karbon. Melalui kolaborasi antara kebijakan, riset, dan industri, jarak pagar berpotensi menjadi komoditas strategis nasional yang memperkuat ketahanan pangan, mendukung ekonomi hijau, serta mempercepat transisi menuju sistem akuakultur berkelanjutan dan ramah lingkungan.

KONTRIBUSI PENULIS

IKS: konsep, draft original; BAT: konsep, akurasi data, pengeditan data; ABF: konsep, validasi data; GAS: konsep, edit, validasi data.

DAFTAR ACUAN

- Abbas, A. H., SE, Atawodi, S. E., Onyike, E. O., & Agbaji, A. S. (2022). Evaluation of Processed *Jatropha curcas* cake as food supplement on catfish (*Clarias gariepinus*). *Journal of Fisheries Sciences.com.*, 16(6), 1–7. <https://doi.org/10.36648/1387-134>
- Ahluwalia, S., Bidlan, R., Shrivastav, A. K., Goswami, R. K., Singh, P., & Sharma, J. G. (2020). Optimization of protein extraction from detoxified *Jatropha* seed cake using response surface methodology and amino acid analysis. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 17(2), 1087–1100. <https://doi.org/10.1007/s13762-019-02340-4>
- Abou-Arab, A. A., Mahmoud, M. H., Ahmed, D. M. M., & Abu-Salem, F. M. (2019). Comparative study between chemical, physical and enzymatic methods for *Jatropha curcas* kernel meal phorbol ester detoxification. *Heliyon*, 5(5), 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01689>
- Abubakar, M. (2020). Toasted *Jatropha curcas* seed meal in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) diet: Effect on growth, economic performance, haematology, serum biochemistry and liver histology. *International Journal of Aquatic Biology*, 8(2), 98-108. <https://doi.org/10.22034/ijab.v8i2.808>
- Adeyemo, G., & Oluyede, F. (2015). Dietary inclusion of ethanolic extracts of *Jatropha curcas* on the performance and carcass characteristics of Broiler Chickens. *American Journal of Experimental Agriculture*, 8(2), 130–136. <https://doi.org/10.9734/ajea/2015/10580>
- Ahmed, A. M., Ibrahim, M. M., El-said, M. A. A. E., & Elsadek, B. (2020). Anti-cancer activity of curcin and latex isolated from *Jatropha* plant (*Jatropha Curcas* L.). *Journal of Agricultural Chemistry and Biotechnology*, 11(11), 339–344. <https://doi.org/10.21608/jacb.2020.128902>
- Ardiyanti, Y., & Marfu'ah, S. (2025). Pemanfaatan ekstrak daun jarak merah (*Jatropha gossypifolia*) sebagai antioksidan dan toksisitasnya terhadap larva *Artemia salina*. *Jurnal Sains Dan Kesehatan*, 7(2), 2407–6082. <https://doi.org/10.25026/jsk.v7i2.2273>
- Arifin, N. B., Marthapratama, I., Sanoesi, E., & Prajitno, A. (2017). Aktivitas antibakteri ekstrak daun jarak pagar (*Jatropha curcas* Linn) pada *Vibrio Harveyi* dan *Aeromonas hydrophila*. *Jurnal Perikanan Universitas Gadjah Mada*, 19(1), 11-16.
- Asuk, A. A., Agiang, M. A., Dasofunjo, K., & Willie, A. J. (2015). The biomedical significance of the phytochemical, proximate and mineral compositions of the

- leaf, stem bark and root of *Jatropha curcas*. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 5(8), 650–657. <https://doi.org/10.1016/j.apjtb.2015.05.015>
- Akter, S., Haque, M. A., Sarker, M. A.-A., Atique, U., Iqbal, S., Sarker, P. K., Paray, B. A., Arai, T., & Hossain, M. B. (2024). Efficacy of using plant ingredients as partial substitute of fishmeal in formulated diet for a commercially cultured fish, *Labeo rohita*. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 8, 1376112. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1376112>
- Badan Litbang Pertanian. 2007. *Prospek dan Arah Pengembangan Agribisnis. Aspek Kesesuaian Lahan*. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Jakarta, 30 hlm.
- Barbosa, D. A. P., Kosten, S., Muniz, C. C., & Oliveira-Junior, E. S. (2024). From feed to fish-nutrients' fate in aquaculture systems. In *Applied Sciences (Switzerland)*, 14(14), 1-22. <https://doi.org/10.3390/app14146056>
- Barros, C. R., Ferreira, L. M. M., Fraga, I., Mourão, J. L., & Rodrigues, M. A. M. (2024). Detoxification methods of *Jatropha curcas* seed cake and its potential utilization as animal feed. *Fermentation*, 10(5), 1-17. <https://doi.org/10.3390/fermentation10050256>
- Boyd, C. E., McNevin, A. A., & Davis, R. P. (2022). The contribution of fisheries and aquaculture to the global protein supply. *Food Security*, 14(3), 805–827. <https://doi.org/10.1007/s12571-021-01246-9>
- Cao, X., Wei, X., Shao, Y., Li, D., & Zhu, J. (2025). *Jatropha curcas* seed oil for possible human consumption: A toxicological assessment of its phorbol esters. *Toxicology Reports*, 14(2025), 101870. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2024.101870>
- Chaikul, P., Lourith, N., & Kanlayavattanakul, M. (2024). Decelerated skin aging effect of rubber (*Hevea brasiliensis*) seed oil in cell culture assays. *Scientific Reports*, 14(1), 1-13. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-81035-4>
- Chen, F., Ding, Z., Su, Z., Guan, J., Xu, C., Wang, S., Li, Y., & Xie, D. (2024). Efficiently substituting dietary fish meal with terrestrial compound protein enhances growth, health, and protein synthesis in largemouth bass. *Animals*, 14(15), 2196. <https://doi.org/10.3390/ani14152196>
- Cheng, T., Huang, H., Mi, H., Zhang, L., Deng, J., Zhang, S., Dong, X., Chi, S., Yang, Q., Liu, H., Xie, S., Zhang, W., & Tan, B. (2024). Effects of replacing fish meal with rubber seed cake on growth, digestive, antioxidant and protein metabolism of juvenile asian red-tailed catfish (*Hemibagrus wyckioides*). *Animals*, 14(21), 1-14. <https://doi.org/10.3390/ani14213149>
- Ciptaan, G., Mirnawati, M., Aini, Q., & Makmur, M. (2022). Nutrient content and quality of soybean meal waste fermented by *Aspergillus ficuum* and *Neurospora crassa*. *Online Journal of Animal and Feed Research*, 12(4), 240–245. <https://doi.org/10.51227/ojaf.2022.32>
- Cruz, A. C. P., Ordoñez-Rosas, M. L., Garcia-Ortega, A., Angulo-Escalante, M. A., Almazan-Rueda, P., & Dominguez-Jimenez, V. P. (2018). Biochemical composition and evaluation of *Jatropha curcas* meal as a replacement for fish meal in diets of juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 21(2), 273-282. <https://doi.org/10.56369/tsaes.2427>
- Da Cunha, L., Besen, K. P., de Oliveira, N. S., Delziovo, F. R., Gomes, R., da Cruz, J. M., Picoli, F., Gisbert, E., Skoronski, E., & El Hadi Perez Fabregat, T. (2022). Fermented soybean meal can partially replace fishmeal and improve the intestinal condition of goldfish juveniles reared in a biofloc system. *Aquaculture Research*, 53(18), 6803-6815. <https://doi.org/10.1111/are.16147>
- Dai, X., Yang, X., Wang, C., Fan, Y., Xin, S., Hua, Y., Wang, K., & Huang, H. (2021). CRISPR/Cas9-mediated genome editing in *Hevea brasiliensis*. *Industrial Crops and Products*, 164, 113418. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113418>

- De-Castro, R. M. (2010). *Evaluation of phorbol ester toxicity of jatropha curcas using tilapia (Oreochromis niloticus L.) bioassay college of engineering and agro-industrial technology*. Los Banos. University of The Philippines Los Banos.
- Direktorat Jenderal Perkebunan, Kementerian Pertanian Republik Indonesia. (2023). Statistik Perkebunan Non Unggulan Nasional Tahun 2020-2022. <https://ditjenbun.pertanian.go.id/template/uploads/2022/11/BUKU-STATISIK-NON-UNGGULAN-2020-2022>
- Efendy, E. N., Syawallita, R. O., Zainuri, M., & Junaedi, A. S. (2023). Aplikasi pemberian probiotik yang berbeda ikan Lele Sangkuriang (*Clarias gariepinus*) Di Desa Banyuajuh Kamal Bangkalan. *Journal of Indonesian Tropical Fisheries (JOINT-FISH): Jurnal Akuakultur, Teknologi Dan Manajemen Perikanan Tangkap Dan Ilmu Kelautan*, 6(2), 224–235. <https://doi.org/10.33096/joint-fish.v6i2.387>
- Elangovan, A. V, Gowda, N. K. S., Satyanarayana, M. L., Suganthi, R. U., Rao, S. B. N., & Sridhar, M. (2013). *Jatropha (Jatropha curcas)* seed cake as a feed ingredient in the rations of sheep. *Animal Nutrition and Feed Technology*, 13(1), 57–67.
- Fajingbesi, O. A., M Z, W. C., B, A. J., A, A. A., Balogun, O., Daniel Oche, O., Yusuf, I., & Ibrahim, B. (2019). Detoxification and anti-nutrient reduction of *J.curcas* seed cake by fermentation using bacillus coagulans. *World Journal of Pharmaceutical and Medical Research*, 5(1), 1-8. <https://kubanni.abu.edu.ng/handle/123456789/10800>.
- Fantatto, R. R., Mota, J., Ligeiro, C., Vieira, I., Guilgur, L. G., Santos, M., & Murta, D. (2024). Exploring sustainable alternatives in aquaculture feeding: the role of insects. *Aquaculture Reports*, 37, 102228. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2024.102228>.
- Fatril, D. D., Putri, D. A., & Putri, R. E. (2025). Uji toksisitas ekstrak etanol daun jarak pagar (*Jatropha curcas* L.) dengan metode Brine Shrimp Lethality Test (BSLT). *BioWallacea: Jurnal Penelitian Biologi (Journal of Biological Research)*, 12(1), 49-54.
- Fauziantaka, D. B., Pratiwy, F. M., Handaka, A. A., & Zidni, I. (2025). the effect of probiotics addition in feed on the survival and growth of nile fish (*Oreochromis niloticus*) in the aquaponic system. *Jurnal Perikanan Unram*, 15(3), 1058-1068. <https://doi.org/10.29303/jp.v15i3.1391>.
- Fawole, F. J., Sahu, N. P., Shamna, N., Phulia, V., Emikpe, B. O., Adeoye, A. A., Aderolu, A. Z., & Popoola, O. M. (2018). Effects of detoxified *Jatropha curcas* protein isolate on growth performance, nutrient digestibility and physio-metabolic response of *Labeo rohita* fingerlings. *Aquaculture Nutrition*, 24(4), 1223-1233. <https://doi.org/10.1111/anu.12660>
- Fawole, F. J., Sahu, N. P., Shamna, N., Adeoye, A. A., Phulia, V., & Emikpe, B. O. (2023). Effects of dietary detoxified *Jatropha curcas* protein isolate on some physiological parameters, intestine, and liver morphology of *Labeo rohita* fingerlings. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 23(1), 1-10. <https://doi.org/10.4194/TRJFAS21623>
- Feng, X., Ng, K., Ajlouni, S., Zhang, P., & Fang, Z. (2024). Effect of solid-state fermentation on plant-sourced proteins: A review. *Food Reviews International*, 40(9), 2580-2617. <https://doi.org/10.1080/87559129.2023.2274490>
- Flora, M. A. L. Della, da Silva Cardoso, A. J., & Hisano, H. (2023). Growth, metabolism and digestibility of Nile tilapia fed diets with solvent and extrusion-treated *Jatropha curcas* cake. *Veterinary Research Communications*, 47(3), 1273-1283. <https://doi.org/10.1007/s11259-023-10076-3>

- Gangwar, M., & Shankar, J. (2020). Molecular mechanisms of the floral biology of *Jatropha curcas*: opportunities and challenges as an energy crop. *Frontiers in Plant Science*, 11, 609. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00609>
- Ghosh, S., & Bitra, V. S. P. (2020). Phorbol ester degradation using chemical treatment in *Jatropha* kernel meal. *IJCS*, 8(3), 159-163. <https://doi.org/10.22271/chemi.2020.v8.i3b.9219>.
- Ghosh, S., Bitra, V. S. P., S Dasi, D., & Godugula, V. (2021). Detoxification of *jatropha* kernel meal to utilize it as aqua-feed. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 101(12), 5089-5096. <https://doi.org/10.1002/jsfa.11154>
- Gomes, T. G., Hadi, S. I. I. A., de Aquino Ribeiro, J. A., Segatto, R., Mendes, T. D., Helm, C. V., Júnior, A. F. C., Miller, R. N. G., Mendonça, S., & de Siqueira, F. G. (2022). Phorbol ester biodegradation in *Jatropha curcas* cake and potential as a substrate for enzyme and *Pleurotus pulmonarius* edible mushroom production. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 45, 102498. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2022.102498>.
- Guangwei, W., Luo, W., Zhang, X., Sun, G., Tong, F., & Luo, W. (2025). Effect of different fishmeal levels in diets on growth performance, tissue morphology, intestinal microflora, and muscle volatile compounds of grass carp. *Frontiers in Marine Science*, 12, 1659376. <https://doi.org/10.3389/fmars.2025.1659376>
- Guedes, R. E., de Almeida Cruz, F., de Lima, M. C., Sant'Ana, L. D., Castro, R. N., & Mendes, M. F. (2014). Detoxification of *Jatropha curcas* seed cake using chemical treatment: analysis with a central composite rotatable design. *Industrial Crops and Products*, 52, 537-543. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.11.024>.
- Gunun, N., Kaewpila, C., Khota, W., Kimprasit, T., Cherdthong, A., & Gunun, P. (2024). The effect of supplementation with rubber seed kernel pellet on in vitro rumen fermentation characteristics and fatty acid profiles in Swamp Buffalo. *BMC Veterinary Research*, 20(1), 1-8. <https://doi.org/10.1186/s12917-024-04017-8>
- Handajani, H., Hakim, R. R., Sutaro, G. A., Mavuso, B. R., Chang, Z., & Andriawan, S. (2021). Degradation of phorbol esters on the *Jatropha curcas* Linn. seed by biological detoxification. *E3S Web of Conferences*, 226, 00020. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202122600020>.
- Harinder, P. M., Francis, G., & Becker, K. (2008). Protein concentrate from *Jatropha curcas* screw-pressed seed cake and toxic and antinutritional factors in protein concentrate. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88, 1542-1548. <https://doi.org/10.1002/jsfa>.
- Harter, T., Buhrke, F., Kumar, V., Focken, U., Makkar, H. P. S., & Becker, K. (2011). Substitution of fish meal by *Jatropha curcas* kernel meal: Effects on growth performance and body composition of white leg shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Aquaculture Nutrition*, 17(5), 542-548. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2010.00845.x>.
- Herdina, A. P., Handayani, E., Rohmawati, S., Isfanaya, N. K., & Sopandi, T. (2024). Evaluation of the nutritional composition of fish meal production. *International Journal of Agriculture & Environmental Science*, 11(4), 42-46. <https://doi.org/10.14445/23942568/ijaes-v11i4p106>
- Herman, M., & Anam, C. (2009). Pola tanam berbasis jarak pagar. *Jurnal Saintis*, 1(1), 43-54. https://doi.org/https://dx.doi.org/10.7831/ras.8.0_109
- Hermantara, R. (2024). CRISPR-Cas9: A story of discovery, innovation, and revolution in genome editing. *Indonesian Journal of Life Sciences*, 83-104. <https://doi.org/10.54250/ijls.v6i01.197>

- Herrera, J., Siddhuraju, P., Francis, G., Dávila-Ortíz, G., & Becker, K. (2006). Chemical composition, toxic/antimetabolic constituents, and effects of different treatments on their levels, in four provenances of *Jatropha curcas* L. from Mexico. *Food Chemistry*, 96(1), 80-89. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.01.059>
- Hilmarsdóttir, G. S., Ögmundarson, Ó., Arason, S., & Gudjónsdóttir, M. (2022). Identification of environmental hotspots in fishmeal and fish oil production towards the optimization of energy-related processes. *Journal of Cleaner Production*, 343, 130880. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130880>
- Hossain, M. B., Sultana, J., Pingki, F. H., Nur, A.-A. U., Mia, M. S., Bakar, M. A., Yu, J., Paray, B. A., & Arai, T. (2023). Accumulation and contamination assessment of heavy metals in sediments of commercial aquaculture farms from a coastal area along the northern Bay of Bengal. *Frontiers in Environmental Science*, 11, 1148360. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1148360>
- Jimoh, W. A., Ayeloja, A. A., Abubakar, M. I. O., Yusuf, Y. O., Shittu, M. O., & Abdulsalami, S. A. (2020). Toasted *Jatropha curcas* seed meal in nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) diet: effect on growth, economic performance, haematology, serum biochemistry and liver histology. *International Journal of Aquatic Biology*, 8(2), 98-108. <https://doi.org/10.22034/ijab.v8i2.808>
- Jimoh, W. A., Shittu, M. O., Ayeloja, A. A., Abdulsalami, S. A., & Okemakin, F. Y. (2020). Apparent digestibility coefficients of nutrients in diets containing *Jatropha curcas* seedmeal by *Oreochromis niloticus*. *Journal of Agricultural Sciences - Sri Lanka*, 15(3), 378-386. <https://doi.org/10.4038/jas.v15i3.9029>
- Jimoh, J. O., Rahmah, S., Omitoyin, B. O., Ajani, E. K., Jalilah, M., Okomoda, V. T., Torsabo, D., Fabusoro, A. A., Chang, Y. M., & Chen, Y.-M. (2024). Growth performances of *Clarias gariepinus* juveniles fed with *Jatropha curcas* seed meal. *Aquaculture Reports*, 39, 102433. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2024.102433>
- Jimoh, W. A., Ayeloja, A. A., Abubakar, M. I. O., Yusuf, Y. O., Shittu, M. O., & Abdulsalami, S. A. (2020). Toasted *Jatropha curcas* seed meal in nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) diet: Effect on growth, economic performance, haematology, serum biochemistry and liver histology. *International Journal of Aquatic Biology*, 8(2), 98-108. <https://doi.org/10.22034/ijab.v8i2.808>
- Karolina, W.-A., & Justyna, N. (2025). Rapeseed meal as an alternative protein source in fish feed and its impact on growth parameters, digestive tract, and gut microbiota. *Animals*, 15(9), 1264. <https://doi.org/10.3390/ani15091264>
- Kamaruddin, A., Wan Harun, W. H. A., Mohd Bakri, M., Zainal Abidin, S. A., Giribabu, N., & Syed Abdul Rahman, S. N. (2024). Phytochemical profile and antimicrobial activity of *Jatropha curcas* extracts against oral microorganisms. *Heliyon*, 10(17), 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e33422>
- Kaur, N., Qadir, M., Francis, D. V., Alok, A., Tiwari, S., & Ahmed, Z. F. R. (2025). CRISPR/Cas9: a sustainable technology to enhance climate resilience in major Staple Crops. *Frontiers in Genome Editing*, 7(3), 1-27. <https://doi.org/10.3389/fgeed.2025.1533197>
- Krome, C., Jauncey, K., & Focken, U. (2016). *Jatropha curcas* kernel meal as a replacement for fishmeal in practical Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* feeds. *AACL Bioflux*, 9(3), 590-596. <https://dSPACE.stir.ac.uk/bits/tream/1893/24177/1/2016.590-596>
- Kumar, V., & Barman, D. (2012). Anti-nutritional Factors in Plant Feedstuffs Used in Aquafeeds. *World Aquaculture*, 43(4), 64-67.
- Kumar, V., Makkar, H. P. S., & Becker, K. (2010). Dietary inclusion of detoxified *Jatropha curcas* kernel meal: effects on growth performance and metabolic efficiency in common carp, *Cyprinus carpio* L. *Fish Physiol Biochem*, 36(4), 1159-1170. <https://doi.org/10.1007/s10695-010-9394-7>

- Levi, Y. F. C. P., Dwisari, M., Tanuwiria, H., Budiman, A., & Hernaman, I. (2022). Dampak penggunaan bungkil biji jarak (*Jatropha curcas* L.) dalam ransum sapi potong terhadap fermentabilitas dan pencernaan secara in vitro. *COMPOSITE: Jurnal Ilmu Pertanian*, 4(2), 41-46. <https://doi.org/10.37577/composite.v4i2.445>
- Li, B., Boukhennou, A., Shao, J., Miao, L., Du, Y., & Chen, J. (2025). Application status and development prospect of fermented ingredients in aquaculture. *Aquaculture Reports*, 42, 102842. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2025.102842>
- Li, Y., Chen, L., Zhang, Y., Wu, J., Lin, Y., Fang, Z., Che, L., Xu, S., & Wu, D. (2018). Substitution of soybean meal with detoxified *Jatropha curcas* kernel meal: Effects on performance, nutrient utilization, and meat edibility of growing pigs. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 31(6), 888-898. <https://doi.org/10.5713/ajas.17.0499>.
- Liang, H., Ma, Z., Sun, R., & Song, L. (2021). Research progress on antibacterial activity of bioactive flavonoids. *China Surfactant Detergent and Cosmetics*, 51(8), 775-781. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1001-1803.2021.08.012>
- Liu, G., & Mai, J. (2022). Habitat shifts of *Jatropha curcas* L. in the Asia-Pacific region under climate change scenarios. *Energy*, 251, 123885. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.123885>
- Liu, Q., Yang, F., Zhang, J., Liu, H., Rahman, S., Islam, S., Ma, W., & She, M. (2021). Application of CRISPR/Cas9 in crop quality improvement. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(8), 1-16. <https://doi.org/10.3390/ijms22084206>
- Liu, Y., Zhu, Z., Zhang, R., & Zhao, X. (2024). Life cycle assessment and life cycle cost analysis of *Jatropha* biodiesel production in China. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 14(22), 28635–28660. <https://doi.org/10.1007/s13399-022-03614-7>
- Luthada-Raswiswi, R., Mukaratirwa, S., & O'brien, G. (2021). Animal protein sources as a substitute for fishmeal in aquaculture diets: a systematic review and meta-analysis. *Applied Sciences*, 11(9), 1-16. <https://doi.org/10.3390/app11093854>
- Ma, Z., Hassan, M. M., Allais, L., He, T., Leterme, S., Ellis, A. V, McGraw, B., & Qin, J. G. (2018). Replacement of fishmeal with commercial soybean meal and EnzoMeal in juvenile barramundi *Lates calcarifer*. *Aquaculture Research*, 49(10), 3258-3269. <https://doi.org/10.1111/are.13790>
- Macusi, E. D., Cayacay, M. A., Borazon, E. Q., Sales, A. C., Habib, A., Fadli, N., & Santos, M. D. (2023). Protein fishmeal replacement in aquaculture: A systematic review and implications on growth and adoption viability. *Sustainability*, 15(16), 1-15. <https://doi.org/10.3390/su151612500>
- Mahyuddin, Husain, S., & Mustarin, A. (2020). Pengaruh perendaman telur ikan mas (*Cyprinus carpio* L.) dalam larutan daun jarak pagar (*Jatropha curcas* L.) terhadap daya tetas telur. *Jurnal Pendidikan Teknologi Pertanian*, 6(1), 23-32. <https://doi.org/10.26858/jptp.v6i1.11182>
- Mao, Z., Chen, Y., Cao, S., Tang, J., Qu, F., Tao, M., & Liu, Z. (2024). Effects of the total fish meal replacement by plant meal on growth performance, nutrient utilization and intestinal microbiota of backcross F2 derived from blunt snout bream (*Megalobrama amblycephala*, ♀) × topmouth culter (*Culter alburnus*, ♂). *Aquaculture Reports*, 34, 101889. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2023.101889>
- Marzouk, O. A. (2020). *Jatropha curcas* as marginal land development crop in the sultanate of oman for producing biodiesel, biogas, biobriquettes, animal feed, and organic fertilizer. *Reviews in Agricultural Science*, 8, 109-123. https://doi.org/10.7831/ras.8.0_109

- Maulu, S., Langi, S., Hasimuna, O. J., Missinhoun, D., Munganga, B. P., Hampuwo, B. M., Gabriel, N. N., Elsabagh, M., Van Doan, H., & Kari, Z. A. (2022). Recent advances in the utilization of insects as an ingredient in aquafeeds: A review. *Animal Nutrition*, 11, 334-349. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2022.07.013>
- Maundu, A., Munguti, J., Sharma, R., Kasozi, N., Liti, D., Muthoka, M., Kirimi, J., & Mutiso, J. (2024). Apparent protein digestibility and growth performance of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) fed on sunflower and cotton seed meal as substitutes for freshwater shrimp meal (*Caridina nilotica*). *Aquaculture Research*, 2024(1), 2713506. <https://doi.org/10.1155/2024/2713506>
- Masri, R. S., Syafni, N., Rustini, R., Supriyono, A., Kuo, P.-C., & Handayani, D. (2025). Isolation of endophytic fungi with antibacterial activity from medicinal plant *Jatropha multifida* L. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 15(7), 261-271. <https://doi.org/10.7324/JAPS.2025.230085>
- Mello, F. V., Silva, P., Barata, M., Soares, F., Pousão-Ferreira, P., Duarte, M. P., Valente, L. M. P., Marques, A., & Anacleto, P. (2025). Protein digestibility of aquafeeds in *Sparus aurata*: A model for in vitro bioaccessibility validation in fish. *Food Research International*, 213(2025), 116554. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2025.116554>
- Michael, K. G., Sogbesan, O. A., Onyia, L. U., & Shallangwa, S. M. (2019). Nutritional evaluation of processed *Jatropha curcas* seed meals. *Direct Research Journal*, 7(6), 131-136. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2018.04.001>
- Montoya-Mejía, M., García-Ulloa, M., Hernández-Llamas, A., Nolasco-Soria, H., & Rodríguez-González, H. (2017). Digestibility, growth, blood chemistry, and enzyme activity of juvenile *Oreochromis niloticus* fed isocaloric diets containing animal and plant byproducts. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 46(12), 873-882. <https://doi.org/10.1590/S1806-92902017001200001>
- Muhammad, O. A., Omolade, A. O., & Daniyan, S. Y. (2017). Growth performance and body compositions of *Clarias gariepinus* fed graded levels of detoxified *Jatropha curcas* meal. *Oceanography & Fisheries*, 3(5), 1-5. <https://doi.org/10.19080/OFOAJ.2017.03.555621>
- Musa, S. O., Okomoda, V. T., Tiamiyu, L. O., Solomon, S. G., Adeyemo, B. T., Alamanjo, C. C., & Abol-Munafi, A. B. (2021). Dietary implications of toasted *Jatropha curcas* kernel on the growth, haematology, and organ histology of *Clarias gariepinus* fingerlings. *Tropical Animal Health and Production*, 53(2), 232-243. <https://doi.org/10.1007/s11250-021-02678-3>
- Musa, S. O., Tiamiyu, L. O., Solomon, S. G., Ayuba, V. O., & Okomoda, V. T. (2018). Nutritional value of hydrothermally processed *Jatropha curcas* kernel and its effect on growth and hematological parameters of *Clarias gariepinus* fingerlings (Burchell, 1822). *Aquaculture Reports*, 10, 32-38. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2018.04.001>
- Nafees, M. S. M., Kamarudin, M. S., Karim, M., Hassan, M. Z., & de Cruz, C. R. (2023). Effects of dietary fiber on growth, feed efficiency and nutrient utilization of tin foil barb (*Barbonymus schwanenfeldii*, Bleeker 1853) fry. *Aquaculture Reports*, 32, 101743. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2023.101743>
- Najda, A. B., Almehemdi, A. F., & Zabar, A. F. (2013). Chemical composition and nutritional value of *Jatropha curcas* L. leaves. *Journal of Genetic and Environmental Resources Conservation*, 1(3), 221-226. <https://doi.org/10.63799>
- Najjar, A., Abdullah, N., Saad, W. Z., Ahmad, S., Oskoueian, E., Abas, F., & Gherbawy, Y. (2014). Detoxification of toxic phorbol esters from Malaysian *Jatropha curcas* Linn. kernel by *Trichoderma* spp. and endophytic fungi. *International Journal of Molecular Sciences*, 15(2), 2274-2288. <https://doi.org/10.3390/ijms15022274>

- Napier, J. A., & Betancor, M. B. (2023). Engineering plant-based feedstocks for sustainable aquaculture. *Current Opinion in Plant Biology*, 71. 102323. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2022.102323>
- Nepal, S., Kumar, V., Makkar, H. P. S., Stadtlander, T., Romano, N., & Becker, K. (2018). Comparative nutritional value of *Jatropha curcas* protein isolate and soy protein isolate in common carp. *Fish Physiology and Biochemistry*, 44(1), 143-162. <https://doi.org/10.1007/s10695-017-0420-x>
- Neu, P. M., Schober, S., & Mittelbach, M. (2018). Quantification of phorbol esters in *Jatropha curcas* by HPLC-UV and HPLC-ToF-MS with standard addition method. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 120(8), 1800146. <https://doi.org/10.1002/ejlt.201800146>
- Neupane, D., Bhattarai, D., Ahmed, Z., Das, B., Pandey, S., Solomon, J. K. Q., Qin, R., & Adhikari, P. (2021). Growing *Jatropha* (*Jatropha curcas* L.) as a potential second-generation biodiesel feedstock. *Inventions*, 6(4), 1-23. <https://doi.org/10.3390/inventions6040060>
- Nithiyanantham, S., Siddhuraju, P., & Francis, G. (2012). Potential of *Jatropha curcas* as a biofuel, animal feed and health products. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 89(6), 961-972. <https://doi.org/10.1007/s11746-012-2012-3>
- Nna, P. J., Joseph, L., & Orie, K. J. (2020). Comparative study on the phytoconstituents and antimicrobial analysis of *Jatropha curcas* leaf and stem bark. *Direct Research Journal of Chemistry and Material Science*, 7(12), 37-43. <https://doi.org/10.26765/DRJCMS7219803564>
- Nunes, A. J. P., & Masagounder, K. (2022). Optimal levels of fish meal and methionine in diets for juvenile *Litopenaeus vannamei* to support maximum growth performance with economic efficiency. *Animals*, 13(1), 1-18. <https://doi.org/10.3390/ani13010020>
- Nurhidayanti. (2020). Acute toxicity test of *Jatropha curcas* l. On nile tilapia seeds (*Oreochromis niloticus* L.). *Science and Technology Indonesia*, 5(1), 18-22. <https://doi.org/10.26554/sti.2020.5.1.18-22>
- Nurhidayanti, N. (2020). Acute Toxicity Test of *Jatropha curcas* L. on Nile Tilapia Seeds (*Oreochromis niloticus* L.). *Science and Technology Indonesia*, 5(1), 18-22.
- Okomoda, V. T., Musa, S. O., Tihamiyu, L. O., Solomon, S. G., Alamanjo, C. C., & Abol-Munafi, A. B. (2021). Dietary implications of detoxified *Jatropha curcas* kernel for *Clarias gariepinus* fingerlings. *Veterinary Sciences*, 8(8), 152-163. <https://doi.org/10.3390/vetsci8080152>
- Okomoda, V. T., Musa, S. O., Tihamiyu, L. O., Solomon, S. G., Oladimeji, A. S., Hassan, A., Alabi, K. I., & Abol-Munafi, A. B. (2020). Fermentation of hydrothermal processed *Jatropha curcas* kernel: Effects on the performance of *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822) fingerlings. *Aquaculture Reports*, 18(5), 100428. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100428>
- Omoikhoje, S. O., Eguaioje, A. S., Iyiorobhe, P., Akangbe, E., & Aidelomon, E. O. (2024). Growth performance of broiler chickens on cold aqueous *Jatropha tanjorensis* leaf extracts. *Nigerian Journal of Animal Production*, 49(1), 1298-1302. <https://doi.org/10.51791/njap.vi.7003>
- Oskoueian, E., Oskoueian, A., & Shakeri, M. (2021). Benefits and challenges of *Jatropha* meal as novel biofeed for animal production. *Veterinary sciences*, 8(9), 1-14. <https://doi.org/10.3390/vetsci8090179>
- Oviedo-Rondon, E. O., Toscan, A., Fagundes, N. S., Vidal, J. K., Barbi, J., & Thiery, P. (2024). Soybean meal nutrient composition, amino acid digestibility, and energy content according to the country of origin and year of harvest evaluated via NIRS. *Journal of Applied Poultry Research*, 33(3), 100448. <https://doi.org/10.1016/j.japr.2024.100448>

- Oyetayo, V. O., & Temenu, O. E. (2023). Comparative Study on the phytochemical, antistaphylococcal and antioxidant properties of the stem bark of *Jatropha curcas* L and *Jatropha gossypifolia* L. *Sultan Qaboos University Journal for Science*, 28(1), 17-24. <https://doi.org/10.53539/squjs.vol28iss1pp17-24>.
- Pamba, M. R., Poirier, V., Nguema Ndoutoumou, P., & Epule, T. E. (2024). Growing *Jatropha curcas* L. improves the chemical characteristics of degraded tropical soils. *Forests*, 15(10), 1-12. <https://doi.org/10.3390/f15101709>
- Phasukarratchai, N., Tontayakom, V., & Tongcumpou, C. (2012). Reduction of phorbol esters in *Jatropha curcas* L. pressed meal by surfactant solutions extraction. *Biomass and Bioenergy*, 45, 48-56. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2012.05.020>
- Phengnuam, T., & Suntornsuk, W. (2013). Detoxification and anti-nutrients reduction of *Jatropha curcas* seed cake by *Bacillus* fermentation. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 115(2), 168-172. <https://doi.org/10.1016/j.jbiosc.2012.08.017>
- Phulia, V., Sardar, P., Sahu, N. P., Shamna, N., Fawole, F. J., Gupta, S., & Gadhave, P. D. (2017). Replacement of soybean meal with fermented *Jatropha curcas* Kernel meal in the diet of *Labeo rohita* Fingerlings: Effect on hemato-biochemical and histopathological parameters. *Journal of the World Aquaculture Society*, 48(4), 676-683. <https://doi.org/10.1111/jwas.12379>
- Qin, X., Sun, G., Meng, Y., Su, X., Zhang, L., Tian, H., Li, C., & Ma, R. (2025). Combined replacement of fish meal and fish oil by composite proteins source and canola oil: Effects on the growth performance, liver and intestine health of triploid rainbow trout. *Aquaculture Reports*, 43, 103005. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2025.103005>
- Rahu, M. I., Naqvi, S. H. A., Memon, N. H., Idrees, M., Kandhro, F., Pathan, N. L., Sarker, M. N. I., & Aqeel Bhutto, M. (2021). Determination of antimicrobial and phytochemical compounds of *Jatropha curcas* plant. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(5), 2867-2876. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.02.019>
- Rai, S., Kafle, A., Devkota, H. P., & Bhattarai, A. (2023). Characterization of saponins from the leaves and stem bark of *Jatropha curcas* L. for surface-active properties. *Heliyon*, 9(5), e15807. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e15807>
- Rodríguez-González, H., López-Aguilar, M. R., Fonseca-Madrigal, J., Martínez-Palacios, C. A., & García-Ulloa, M. (2018). Use of a mixture of vegetal (*Jatropha curcas*) and animal (fish silage) byproducts as protein source in shrimp (*Litopenaeus vannamei*) diets. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 47(11), 1-8. <https://doi.org/10.1590/rbz4720170165>
- Rossignoli, C. M., Manyise, T., Shikuku, K. M., Nasr-Allah, A. M., Dompheh, E. B., Henriksson, P. J. G., Lam, R. D., Lozano Lazo, D., Tran, N., Roem, A., Badr, A., Sbaay, A. S., Moruzzo, R., Tilley, A., Charo-Karisa, H., & Gasparatos, A. (2023). Tilapia aquaculture systems in Egypt: Characteristics, sustainability outcomes and entry points for sustainable aquatic food systems. *Aquaculture*, 577, 739952. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.739952>
- Ruatpuia, J. V. L., Halder, G., Vanlalchhandama, M., Lalsangpuii, F., Boddula, R., Al-Qahtani, N., Niju, S., Mathimani, T., & Rokhum, S. L. (2024). *Jatropha curcas* oil a potential feedstock for biodiesel production: A critical review. *Fuel*, 370, 131829. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2024.131829>
- Rusda, Y., Prayitno, S. B., & Hastuti, S. (2023). Effect of soaking Java barb (*Baryonius gonionotus*) eggs in *Jatropha* leaf solution (*Jatropha curcas* L.) on their hatching and survival rate. *Omni-Akuatika*, 2(19), 115-125. <https://doi.org/10.20884/1.oa.2023.19.2.1067>

- Saeed, M., Arain, M. A., Arif, M., Lagawany, M., Abd El-Hack, M. E., Kakar, M. U., Manzoor, R., Erdenee, S., & Chao, S. (2017). *Jatropha* (*Jatropha curcas*) meal is an alternative protein source in poultry nutrition. *World's Poultry Science Journal*, 73(4), 783-790. <https://doi.org/10.1017/S0043933917000824>
- Saetae, D., Kleekayai, T., Jayasena, V., & Suntornsuk, W. (2011). Functional properties of protein isolate obtained from physic nut (*Jatropha curcas* L.) seed cake. *Food Science and Biotechnology*, 20(1), 29-37. <https://doi.org/10.1007/s10068-011-0005-x>
- Serra, V., Pastorelli, G., Tedesco, D. E. A., Turin, L., & Guerrini, A. (2024). Alternative protein sources in aquafeed: Current scenario and future perspectives. *Veterinary and Animal Science*, 25, 100381. <https://doi.org/10.1016/j.vas.2024.100381>
- Setiawan, A., Wahyuni, T., Asianto, A. D., Malika, R., Wulansari, R. E., Retno, R. A., Listyowati, T., Rakhman, F. A., Indria, P. D., Tambunan, M. L. M., Arifah, F. A., Putra, H. I. K., & Narentar, J. E. S. (2024). *Analisis Indikator Kinerja Utama (IKU) Sektor Kelautan dan Perikanan Kurun Waktu 2019-2023*. Pusat Data, Statistik dan Informasi. Jakarta.
- Shukla, A., Singh, S. P., & Tiwari, S. (2015). Transformation of toxic potential of *Jatropha curcas* (Ratanjyot) into protein source: A mini-review. *Journal of Advanced Veterinary and Animal Research*, 2(2), 89-94. <https://doi.org/10.5455/javar.2015.b82>
- Silitonga, A. S., Masjuki, H. H., Mahlia, T. M. I., Ong, H. C., Chong, W. T., & Boosroh, M. H. (2013). Overview properties of biodiesel–diesel blends from edible and non-edible feedstock. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 22, 346-360. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.01.055>
- Smith, A. A., Dumas, A., Yossa, R., Overturf, K. E., & Bureau, D. P. (2017). Effects of soybean and sunflower meals on the growth, feed utilization, and gene expression in two Canadian strains of juvenile Arctic charr (*Salvelinus alpinus*). *Aquaculture*, 481, 191-201. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.08.038>
- Solomon, S. G., Okomoda, V. T., & Torkor, E. F. (2016). Growth performance of *Clarias gariepinus* fingerlings fed *Jatropha curcas* kernel meal. *International Journal of Aquaculture*, 6(1), 1-6. <https://doi.org/10.5376/ija.2016.06.0001>
- Srinivasan, N., Palanisamy, K., & Mulpuri, S. (2019). *Jatropha*: phytochemistry, pharmacology, and toxicology. In *Jatropha, Challenges for a New Energy Crop. Sustainable Multipurpose Crop*, 3(1), 415-435. https://doi.org/10.1007/978-981-13-3104-6_20
- Suprayogi, W. P. S., Ratriyanto, A., Akhirini, N., Hadi, R. F., Setyono, W., & Irawan, A. (2022). Changes in nutritional and antinutritional aspects of soybean meals by mechanical and solid-state fermentation treatments with *Bacillus subtilis* and *Aspergillus oryzae*. *Bioresource Technology Reports*, 17, 100925. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2021.100925>
- Syed, D., Chamcheu, J.-C., Adhami, V., & Mukhtar, H. (2013). Pomegranate extracts and cancer prevention: Molecular and cellular activities. *Anti-Cancer Agents in Medicinal Chemistry*, 13(8), 1149-1161. <https://doi.org/10.2174/1871520611313080003>
- Tadesse, E., & Tadesse, W. (2017). *Jatropha curcas*: Nature, Uses and Factors Influencing its Management. *Journal of Earth and Environmental Sciences*, 2017(6), 1-14. <https://doi.org/10.29011/JEES-128>
- Takwin, B. A., Perdana, D. P., Muktiniati, M., & Azhar, F. (2023). Utilization of *Jatropha curcas* leaf extract as immune system enhancer of vannamei shrimp (*Litopenaeus vannamei*) infected with *Vibrio parahaemolyticus*. *Journal of Aquaculture and Fish Health*, 12(1), 12-20. <https://doi.org/10.20473/jafh.v12i1.29898>

- Takwin, B. A., Setyowaty, D. N., & Azhar, F. (2022). The effect of *Jatropha* leaf extract (*Jatropha curcas*) for the immune system of vannamei (*Litopenaeus vannamei*) infected by *Vibrio harveyi*. *Jurnal Ilmu Kelautan Kepulauan*, 5(2), 598-609. <https://doi.org/10.33387/jikk.v5i2.5483>
- Takwin, B. A., & Pratama, M. H. A. (2025). Respon pertumbuhan udang vaname (*Litopenaeus vannamei*) terhadap pakan ekstrak daun jarak pagar (*Jatropha curcas*) dengan dosis berbeda. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Conservation*, 1(3), 1-8. <https://doi.org/10.29303/jmbc.v1i3.7399>
- Veerabhadrapa, M. B., Shivakumar, S. B., & Devappa, S. (2014). Solid-state fermentation of *Jatropha* seed cake for optimization of lipase, protease and detoxification of anti-nutrients in *Jatropha* seed cake using *Aspergillus versicolor* CJS-98. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 117(2), 208-214. <https://doi.org/10.1016/j.jbiosc.2013.07.003>
- Wafar, R. J., Yakubu, B. ;, Yusuf, B. ;, & Antye, M. (2018). Effect of feeding raw and differently processed kapok (*Ceiba pentandra*) seed meal on the growth performance and carcass characteristics of weaner rabbits. *Nigerian J. Anim. Sci* 20(2), 258-270. <https://doi.org/10.4314/tjas.v20i2>
- Wang, L., Gao, C., Wang, B., Wang, C., Sagada, G., & Yan, Y. (2023). Methionine in fish health and nutrition: Potential mechanisms, affecting factors, and future perspectives. *Aquaculture*, 568, 739310. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.739310>
- Workagegn, K. B., Ababbo, E. D., & Tossa, B. T. (2013). The effect of dietary inclusion of *Jatropha curcas* kernel meal on growth performance, feed utilization efficiency and survival rate of juvenile Nile tilapia. *Journal of Aquaculture Research and Development*, 4(5), 1-5. <https://doi.org/10.4172/2155-9546.1000193>
- Xing, S., Liang, X., Zhang, X., Oliva-Teles, A., Peres, H., Li, M., Wang, H., Mai, K., Kaushik, S. J., & Xue, M. (2024). Essential amino acid requirements of fish and crustaceans, a meta-analysis. *Reviews in Aquaculture*, 16(3), 1069-1086. <https://doi.org/10.1111/raq.12886>
- Yadav, N. K., Deepti, M., Patel, A. B., Kumar, P., Angom, J., Debbarma, S., Singh, S. K., Deb, S., Lal, J., & Vaishnav, A. (2025). Dissecting insects as sustainable protein bioresource in fish feed for aquaculture sustainability. *Discover Food*, 5(1), 1-28. <https://doi.org/10.1007/s44187-025-00318-5>
- Yan, Y., Li, X., Zhang, C., Lv, L., Gao, B., & Li, M. (2021). Research progress on antibacterial activities and mechanisms of natural alkaloids: A review. *Antibiotics*, 10(3), 1-30. <https://doi.org/10.3390/antibiotics10030318>
- Yaqoob, H., Teoh, Y. H., Sher, F., Ashraf, M. U., Amjad, S., Jamil, M. A., Jamil, M. M., & Mujtaba, M. A. (2021). *Jatropha curcas* biodiesel: A lucrative recipe for Pakistan's energy sector. *Processes*, 9(7), 1-36. <https://doi.org/10.3390/pr9071129>
- Zhao, Y., Wang, Y., Wang, H., Wu, Y., Makkar, H. P., & Liu, J. (2018). Nutritional value of detoxified *Jatropha curcas* seed cake protein isolates using rats as an animal model. *Animal Nutrition*, 4(4), 429-434. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2018.03.003>
- Zhang, Z., Chang, Y., Tang, H., Zhao, H., Chen, X., Tian, G., Liu, G., Cai, J., & Jia, G. (2021). Bio-detoxification of *Jatropha curcas* L. cake by a soil-borne *Mucor circinelloides* strain using a zebrafish survival model and solid-state fermentation. *Journal of Applied Microbiology*, 130(3), 852-864. <https://doi.org/10.1111/jam.14825>