


bagus.takwin@staf.undana.ac.id 1

17405-70292-2-LE

 Indeks - No Repository 30

Document Details

Submission ID

trn:oid:::20628:118374368

Submission Date

Oct 25, 2025, 8:20 PM GMT+7

Download Date

Oct 25, 2025, 8:28 PM GMT+7

File Name

17405-70292-2-LE.docx

File Size

825.7 KB

46 Pages

14,918 Words

94,965 Characters




10% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

Filtered from the Report

- ▶ Bibliography
 - ▶ Quoted Text
 - ▶ Cited Text
 - ▶ Small Matches (less than 8 words)
-

Top Sources

- 8%  Internet sources
 - 4%  Publications
 - 6%  Submitted works (Student Papers)
-

Top Sources

- 8% Internet sources
- 4% Publications
- 6% Submitted works (Student Papers)

Top Sources

The sources with the highest number of matches within the submission. Overlapping sources will not be displayed.

1	Internet	dergipark.org.tr	<1%
2	Student papers	Costa Rica Institute of Technology on 2025-10-24	<1%
3	Internet	ejurnal.litbang.pertanian.go.id	<1%
4	Internet	id.123dok.com	<1%
5	Internet	journal.lppmunindra.ac.id	<1%
6	Internet	123dok.com	<1%
7	Student papers	Universitas Airlangga on 2024-12-09	<1%
8	Internet	e-journal.unair.ac.id	<1%
9	Internet	repository.unej.ac.id	<1%
10	Publication	Subarna Ghosh, Venkata S.P. Bitra, D.D. Smith, G. Veeraprasad. "Detoxification of ...	<1%
11	Internet	creativecommons.org	<1%

12	Student papers	iGroup on 2013-12-05	<1%
13	Internet	jurnal.ar-raniry.ac.id	<1%
14	Internet	eprints.umpo.ac.id	<1%
15	Internet	garuda.kemdikbud.go.id	<1%
16	Internet	ebrsr.com	<1%
17	Internet	media.neliti.com	<1%
18	Internet	repo.unhi.ac.id	<1%
19	Publication	Reza Samsudin, Dedi Jusadi, Mia Setiawati, Widanarni Widanarni, Alimuddin Alim...	<1%
20	Internet	www.kangatepafia.com	<1%
21	Internet	www.mdpi.com	<1%
22	Student papers	Hoa Sen University on 2020-05-15	<1%
23	Student papers	Politeknik Kesehatan Kemenkes Semarang on 2022-04-27	<1%
24	Student papers	Universitas Mataram on 2023-07-13	<1%
25	Publication	Yan Li, Chiqian Zhang, Zhiqiang Hu. "Hydraulic retention time governed the micr...	<1%

26	Internet	ejurnal.bppt.go.id	<1%
27	Internet	etheses.uin-malang.ac.id	<1%
28	Internet	ija.scholasticahq.com	<1%
29	Internet	tede.unioeste.br	<1%
30	Student papers	Universitas Jenderal Soedirman on 2018-05-22	<1%
31	Student papers	Universitas Samudra on 2020-09-07	<1%
32	Student papers	University of Stirling on 2011-12-16	<1%
33	Internet	edukatif.org	<1%
34	Internet	ilmuakuntansi.web.id	<1%
35	Internet	pubmed.ncbi.nlm.nih.gov	<1%
36	Internet	www.foodandnutritionjournal.org	<1%
37	Internet	www.trjfas.org	<1%
38	Publication	Aftab Ahmad, Nayla Munawar, Baohong Zhang. "Gene-Edited Crops - The CRISPR ...	<1%
39	Student papers	Canakkale Onsekiz Mart University on 2013-02-14	<1%

40	Student papers	Harper Adams University College on 2025-05-02	<1%
41	Publication	Hervey Rodríguez-González, Martín R. López-Aguilar, Jorge Fonseca-Madriral, Car...	<1%
42	Student papers	Universitas Pamulang on 2023-09-16	<1%
43	Internet	animalsciencejournal.usamv.ro	<1%
44	Internet	bps.go.id	<1%
45	Internet	dokumen.pub	<1%
46	Internet	dspace.ups.edu.ec	<1%
47	Internet	ebin.pub	<1%
48	Internet	fr.scribd.com	<1%
49	Internet	repository.sb.ipb.ac.id	<1%
50	Internet	www.econstor.eu	<1%
51	Internet	www.frontiersin.org	<1%
52	Internet	www.infosawit.com	<1%
53	Internet	www.scribd.com	<1%

54	Publication	Evina Yanti, Robby Candra Purnama. "PENETAPAN KADAR BESI (Fe) PADA DAUN J...	<1%
55	Publication	Goedkoop, Sonesten, Markensten, Ahlgren. "Fatty acid biomarkers show dietar...	<1%
56	Publication	I Nyoman Adiasmara Giri, Alifiah Sarah Sentika, Ketut Suwiry, Muhammad Marz...	<1%
57	Publication	Manas K. Maiti, Narottam P. Sahu, Parimal Sardar, Chetan K. Garg, Tincy Varghes...	<1%
58	Publication	Rachimi ., Eka Indah Raharjo, Moch Syaidi Syaidi. "RASIO PENAMBAHAN MADU D...	<1%
59	Student papers	Universidade de Aveiro on 2024-07-30	<1%
60	Student papers	Universitas Brawijaya on 2018-02-11	<1%
61	Publication	Usman Usman, Enang Harris, Dedi Jusadi, Eddy Supriyono, Munti Yuhana. "PERFO...	<1%
62	Internet	es.scribd.com	<1%
63	Internet	ir.jkuat.ac.ke	<1%
64	Internet	jatp.ift.or.id	<1%
65	Internet	jatroref.iram-fr.org	<1%
66	Internet	journal.ugm.ac.id	<1%
67	Internet	jurnal.fp.unila.ac.id	<1%

68	Internet	media.suub.uni-bremen.de	<1%
69	Internet	nataleestore.blogspot.com	<1%
70	Internet	oarep.usim.edu.my	<1%
71	Internet	repository.ipb.ac.id	<1%
72	Internet	toros.edu.tr	<1%

1 **POTENSI BIJI DAN DAUN JARAK PAGAR (*Jatropha curcas*) SEBAGAI SUMBER**
2 **PROTEIN ALTERNATIF DAN IMUNOSTIMULAN DALAM Mendukung**
3 **AKUAKULTUR BERKELANJUTAN: KAJIAN PUSTAKA**
4

5 **I Kadek Sumiana, Bagus Ansani Takwin*, Adimas Bagus Fahturohman, Gabriella**
6 **Augustine Suleman**
7

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

10 *Korespondensi: bagus.takwin@staf.undana.ac.id

11 (Naskah diterima: 22 September 2025; Revisi final: 19 Oktober 2025; Disetujui publikasi: 19 Oktober 2025)
12

13
14
15
16 **ABSTRAK**
17

18 Krisis pangan global dan tingginya kebutuhan protein hewani menuntut adanya sumber protein
19 alternatif yang berkelanjutan dalam akuakultur. Ketergantungan pada tepung ikan sebagai
20 bahan pakan utama menghadapi kendala berupa keterbatasan pasokan dan fluktuasi harga,
21 sehingga diperlukan eksplorasi bahan nabati dengan potensi tinggi, antara lain jarak pagar
22 (*Jatropha curcas*). Artikel ini bertujuan untuk mengkaji potensi jarak pagar sebagai sumber
23 protein alternatif dalam pakan akuakultur. Metode penelitian yang digunakan dalam kajian ini
24 adalah metode kualitatif dengan teknik pengumpulan data melalui studi literatur atau kajian
25 pustaka. Data diperoleh dengan mempelajari teori, konsep, dan hasil penelitian terdahulu yang
26 relevan dengan topik. Sumber kajian berasal artikel jurnal bereputasi nasional, internasional
27 dan prosiding yang diterbitkan dari tahun 2010-2025. Proses pengumpulan literatur dilakukan
28 melalui berbagai basis data seperti Scopus, Web of Science, PubMed, MDPI, Springer Link
29 dan Google Scholar dengan menggunakan kata kunci yang sesuai. Hasil kajian menunjukkan
30 bahwa jarak pagar mengandung protein tinggi 56–64% dengan profil asam amino lengkap serta
31 senyawa bioaktif (flavonoid 0,09–2,92%, saponin 0,092–3,5%, tanin 0,0049–0,395%, fenolik
32 0,48–38%, alkaloid 0,070–0,50% terpenoid 0,022%) yang berfungsi sebagai imunostimulan.
33 Proses detoksifikasi mampu menurunkan kandungan antinutrisi hingga 85%. Aplikasinya
34 dalam pakan mampu menggantikan tepung ikan dan kedelai sebesar 10–40%, meningkatkan
35 pertumbuhan, efisiensi pakan, respons imun, dan kelangsungan hidup organisme budidaya
36 hingga 88,3%. Kajian ini menyimpulkan jarak pagar memiliki potensi sebagai sumber protein
37 alternatif dalam pakan akuakultur karena kandungan nutrisinya yang tinggi dan keberadaan
38 senyawa bioaktif yang bermanfaat melalui metode pengolahan yang tepat. Namun,
39 pemanfaatannya masih terbatas oleh kandungan senyawa toksik yang memerlukan proses
40 detoksifikasi efektif dan aman. Tantangan riset ke depan mencakup optimalisasi teknologi
41 detoksifikasi dan analisis kelayakan aplikasinya dalam skala industri.
42

43 **KATA KUNCI:** akuakultur; detoksifikasi; jarak pagar; limbah; pakan
44

45 **ABSTRACT:** *Potential of Castor Oil Plant (*Jatropha curcas*) as an Alternative Source of*
46 *Protein and Immunostimulant in Supporting Sustainable Aquaculture: A*
47 *Review*
48

49 *The global food crisis and the increasing demand for animal protein necessitate sustainable*
50 *alternative protein sources in aquaculture. Dependence on fishmeal as the primary feed*
51 *ingredient faces challenges due to limited supply and fluctuating prices, making it essential to*
52 *explore high-potential plant-based materials such as **Jatropha curcas**. This article aims to*
53 *review the potential of **Jatropha curcas** as a protein source alternative in aquaculture feed.*
54 *The research employed a qualitative method through a literature review, analyzing theories,*
55 *concepts, and previous studies relevant to the topic. The data sources were peer-reviewed*
56 *national and international articles and conference proceedings published between 2010 and*
57 *2025. Literature was collected from various databases, including Scopus, Web of Science,*
58 *PubMed, MDPI, Springer Link, and Google Scholar, using predetermined keywords. The*
59 *findings indicate that **Jatropha curcas** contains high protein (56–64%) with a complete amino*
60 *acid profile and bioactive compounds (flavonoids 0.09–2.92%, saponins 0.092–3.5%, tannins*
61 *0.0049–0.395%, phenolics 0.48–38%, alkaloids 0.070–0.50%, terpenoids 0.022%) that*
62 *function as immunostimulants. Detoxification processes can reduce antinutritional factors by*
63 *up to 85%. Its application in aquafeed can substitute 10–40% of fishmeal and soybean meal,*
64 *improving growth, feed efficiency, immune response, and survival rate of cultured organisms*
65 *up to 88.3%. This review concludes that **Jatropha curcas** has strong potential as an alternative*
66 *protein source in aquaculture feed due to its high nutritional content and beneficial bioactive*
67 *compounds when processed appropriately. However, its utilization remains constrained by*
68 *toxic compounds that require effective and safe detoxification. Future research challenges*
69 *include optimizing detoxification technologies and evaluating the plant feasibility for*
70 *industrial-scale applications.*

71
72 **KEYWORDS:** *aquaculture; detoxification; **Jatropha curcas**; waste; feed*
73

74 PENDAHULUAN

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

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

87 Pada pembuatan pakan ikan, tepung ikan menjadi bahan baku utama yang digunakan
88 karena memiliki kandungan protein kasar 70,6–72% serta kaya akan asam amino esensial dan
49 asam lemak omega-3 yang penting untuk pertumbuhan dan kesehatan ikan (Fantatto *et al.*,
7 89 2024; Qin *et al.*, 2025). Dalam formulasi pakan, proporsi penggunaan tepung ikan bervariasi
90 tergantung spesies, untuk ikan omnivora seperti *topmouth culter* (*Culter alburnus*), dapat
91 mencapai 13,5–39% dari total bahan pakan, untuk ikan karnivora seperti *largemouth bass*
92 (*Micropterus salmoides*), mencapai 18–36%, sedangkan untuk ikan herbivora seperti *grass*
93 *carp* (*Ctenopharyngodon idellus*), umumnya hanya memerlukan 3–6% (Chen *et al.*, 2024; Mao
43 94 *et al.*, 2024; Guangwei *et al.*, 2025). Pemilihan bahan baku alternatif tidak hanya ditentukan
95 oleh nilai nutrisi dan kesehatan ikan, tetapi juga ketersediaan dan efisiensi biaya di tingkat lokal
96 (Maulu *et al.*, 2022; hilmaret *al.*, 2025). Oleh karena itu, perbandingan antara bahan pakan
97 impor dan sumber protein lokal menjadi krusial untuk memastikan keberlanjutan sistem
98 akuakultur.
99

100 Di Indonesia, ketergantungan terhadap tepung ikan impor masih sangat tinggi.
101 Ketergantungan terhadap tepung ikan juga berdampak langsung pada eksploitasi sumber daya
102 ikan (SDI), karena produksi tepung ikan umumnya berasal dari penangkapan ikan pelagis kecil
103 yang berperan penting dalam keseimbangan ekosistem (Hilmarsdóttir *et al.*, 2022). Data
104 terbaru menunjukkan bahwa kebutuhan nasional tepung ikan untuk industri pakan pada tahun
105 2023 mencapai 121.447 ton, di mana sebagian besar masih dipenuhi melalui impor karena
106 produksi domestik belum mampu menutupi permintaan (Setiawan *et al.*, 2024). Salah satu
107 faktor penyebabnya adalah kualitas tepung ikan lokal yang cenderung lebih rendah, baik dari
108 sisi kandungan protein maupun konsistensi mutu, dibandingkan produk impor yang memiliki
109 sertifikasi dan standar kualitas lebih baik (Hossain *et al.*, 2023; Herdina *et al.*, 2024).

110 Ketergantungan ini menyebabkan biaya produksi pakan rentan terhadap fluktuasi harga
111 internasional, sehingga mendorong perlunya eksplorasi bahan protein alternatif untuk
112 mendukung keberlanjutan akuakultur di masa depan (Serra *et al.*, 2024).

113 Upaya substitusi tepung ikan dengan sumber protein nabati telah banyak dilakukan, baik
114 pada skala laboratorium maupun komersial. Beberapa bahan nabati yang telah digunakan
115 secara luas antara lain tepung kedelai yang menjadi pengganti utama di industri pakan global,
116 diikuti oleh tepung kanola, tepung biji kapas, tepung lupin kuning, tepung kacang, dan tepung
117 biji bunga matahari yang masih banyak diuji pada skala riset (Kumar & Barman, 2012).
118 Beberapa studi menunjukkan bahwa penggantian tepung ikan hingga 50% dengan *soybean*
119 *meal* masih dapat mendukung pertumbuhan optimal pada ikan karnivora seperti barramundi
120 (*Lates calcarifer*), meskipun tingkat substitusi penuh menurunkan konsumsi pakan dan kinerja
121 pertumbuhan (Ma *et al.*, 2018). Upaya lain dilakukan melalui fermentasi *soybean meal*, yang
122 terbukti dapat mengurangi senyawa antinutrisi *Anti-Nutritional Factors* (ANF) dan
123 meningkatkan pencernaan, meskipun pada ikan mas koki (*Carassius auratus*), penggantian lebih
124 dari 28% tetap menurunkan pertumbuhan (Da Cunha *et al.*, 2022)

125 *Anti-Nutritional Factors* (ANF) merupakan senyawa alami yang terdapat dalam bahan
126 pakan nabati yang dapat menghambat pemanfaatan zat gizi oleh hewan. Beberapa contoh ANF
127 yang umum ditemukan antara lain fitat, saponin, tannin, tripsin, serta kandungan serat kasar
128 (*crude fiber*) yang berlebihan, dapat mengganggu penyerapan nutrisi dan memengaruhi
129 morfologi usus (Nafees *et al.*, 2023). Penelitian terbaru pada *Labeo rohita* di sistem keramba
130 menunjukkan bahwa formulasi pakan berbasis protein nabati seperti bungkil sawi, dedak padi,
131 tepung kedelai dapat menggantikan sebagian tepung ikan tanpa mengurangi pertumbuhan,
132 meskipun tingginya serat kasar tetap menjadi faktor pembatas (Akter *et al.*, 2024).
133 Permasalahan tersebut mendorong pencarian alternatif berbasis tanaman (*plant-based feed*)
134 yang dipandang sebagai langkah strategis untuk mengurangi ketergantungan pada tepung ikan

135 sekaligus mendukung keberlanjutan akuakultur, dengan pemanfaatan berbagai bagian
136 tanaman seperti daun, batang, akar, getah, dan biji sebagai bahan baku pakan (Nithiyanantham
137 *et al.*, 2012; Abbas *et al.*, 2022; Napier & Betancor, 2023; Ruatpuia *et al.*, 2024).Berbagai
138 tanaman telah diteliti sebelumnya sebagai sumber protein nabati untuk menggantikan sebagian
139 peran tepung ikan dalam pakan akuakultur. Bungkil kedelai (*soybean meal*) merupakan bahan
140 yang sering digunakan secara global karena kandungan proteinnya yang tinggi 27,62–46,44%
141 serta ketersediaannya yang melimpah, meskipun keberadaan faktor antinutrisi seperti inhibitor
46 142 tripsin dan fitat tetap menjadi kendala utama (Ciptaan *et al.*, 2022; Suprayogi *et al.*, 2022;
143 Oviedo-Rondon *et al.*, 2024). Biji karet (*Hevea brasiliensis*) juga dieksplorasi sebagai bahan
144 pakan alternatif karena mengandung protein kasar 19,8-30,6%, namun pemanfaatannya masih
145 terbatas akibat adanya senyawa toksik linamarin yang perlu diatasi melalui proses detoksifikasi
51 146 (Chaikul *et al.*, 2024; Cheng *et al.*, 2024; Gunun *et al.*, 2024). Sementara itu, biji kapuk (*Ceiba*
147 *pentandra*) mengandung protein kasar 20–35%, kemudian beberapa biji tanaman lokal lain
148 seperti bunga matahari serta kanola telah diuji dalam skala laboratorium dengan hasil bervariasi,
149 terutama karena keterbatasan profil asam amino esensial dan tingginya kadar serat kasar (Smith
31 150 *et al.*, 2017; Wafar *et al.*, 2018).

151 Tanaman jarak pagar (*Jatropha curcas*) telah diidentifikasi sebagai salah satu kandidat
152 potensial sumber bahan baku pakan akuakultur. Selama ini, tanaman ini lebih dikenal sebagai
153 penghasil minyak biodiesel, namun proses ekstraksi minyak menyisakan residu padat berupa
154 bungkil yang masih kaya protein. Bungkil jarak pagar dilaporkan mengandung protein kasar
155 sekitar 58% dengan profil asam amino esensial yang relatif lengkap (Li *et al.*, 2017), sehingga
156 berpotensi menggantikan sebagian tepung ikan dalam formulasi pakan. Biji dan bungkil
157 memiliki kandungan protein kasar sebesar 56–64% (Saeed *et al.*, 2017). Bagian lain dari
158 tanaman ini juga berpotensi untuk dimanfaatkan, seperti daun yang mengandung protein
159 sedang 26% (Asuk *et al.*, 2015), serta senyawa bioaktif yang berfungsi sebagai imunostimulan

160 dan antimikroba alami pada organisme akuatik (Takwin *et al.*, 2020). Getahnya memiliki
161 senyawa bioaktif dengan potensi serupa, meskipun penggunaannya masih terbatas karena
162 toksisitas tinggi; sedangkan kulit buah, cangkang, dan batang umumnya hanya berperan
163 sebagai sumber energi atau serat setelah pengolahan. Kendati demikian, pemanfaatan jarak
164 pagar dalam pakan masih menghadapi kendala serius akibat adanya senyawa toksik seperti
165 *curcin* dan *phorbol ester* yang memerlukan proses detoksifikasi agar aman digunakan (Abbas
166 *et al.*, 2022). Saat ini, penelitian lebih banyak berfokus pada aplikasi spesies budidaya serta
167 teknik pengolahan untuk menurunkan kandungan antinutrisi, sementara studi komprehensif
168 mengenai potensi jarak pagar sebagai bahan baku pakan akuakultur, baik di tingkat global
169 maupun di Indonesia, masih relatif terbatas.

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

184 METODE KAJIAN

5 185 Metode penelitian yang digunakan dalam kajian ini adalah metode kualitatif dengan
186 teknik pengumpulan data melalui studi literatur atau kajian Pustaka. Data diperoleh dengan
12 187 cara memahami serta mempelajari teori, konsep, dan hasil penelitian terdahulu yang relevan
188 dengan topik. Sumber kajian berasal artikel jurnal bereputasi nasional, internasional dan
189 prosiding yang diterbitkan dari tahun 2010-2025. Proses pengumpulan literatur dilakukan
190 melalui berbagai basis data seperti Scopus, Web of Science, PubMed, MDPI, Springer Link
13 191 dan Google Scholar dengan menggunakan kata kunci yang sesuai. Literatur yang diperoleh
192 kemudian diseleksi berdasarkan relevansi, reputasi penerbit, serta kebaruan, dan selanjutnya
193 diklasifikasikan menjadi pustaka yang terkait langsung dengan objek kajian dan pustaka
194 pendukung. Seluruh bahan pustaka tersebut parameter dianalisis secara kualitatif dengan kritis
195 dan mendalam untuk mengkonstruksi argumentasi yang sistematis, dengan menekankan pada
196 parameter utama yaitu potensi dan kuantitas produksi (*production and productivity*), kualitas
197 yang mencakup komposisi proksimat, asam amino, faktor anti-nutrisi, serta kandungan bioaktif
198 dan metode peningkatan kualitas, serta pemanfaatannya dalam pakan untuk mendukung
199 pertumbuhan, meningkatkan efisiensi pakan, dan memperkuat sistem kekebalan tubuh. Dengan
200 demikian, kajian ini disusun secara komprehensif sehingga dapat mendukung proposisi
201 penelitian sekaligus memberikan dasar yang kuat bagi penelitian selanjutnya.

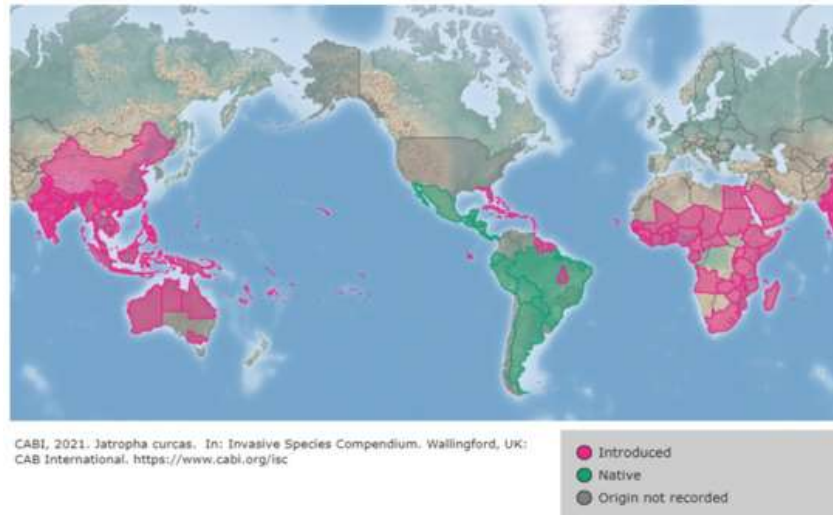
202

203 **HASIL DAN BAHASAN**

24 204 **Kelimpahan Tanaman Jarak Pagar**

205 Jarak pagar merupakan tanaman semak besar atau pohon kecil yang termasuk ke dalam
206 Euphorbiaceae. Biji jarak pagar menghasilkan minyak yang digunakan sebagai biodiesel.
207 Tanaman ini berasal dari Amerika utara dan tengah, dan saat sekarang ini telah tersebar luas di
208 seluruh di dunia seperti Afrika, India, Asia Tenggara, dan Tiongkok. Hasil produksi biji
209 *Jatropha curcas* di berbagai negara dan wilayah dilaporkan sangat bervariasi, yaitu antara 0,1

210 hingga 15 ton per hektar per tahun. Sementara itu, kemampuan tanaman ini dalam
211 menghasilkan minyak mencapai sekitar 1.590 kilogram per hektar per tahun (Silitonga *et al.*,
212 2013). Gambar 1 menunjukkan peta distribusi jarak pagar di seluruh wilayah secara global.



213

214 Gambar 1. Sebaran tanaman jarak *J. curcas* di seluruh dunia (Sumber: CABI, 2021.)

215 *Figure 1. Global distribution of **J. curcas** (Source: CABI, 2021. <https://www.cabi.org/isc>)*

216

217 Jarak pagar di Indonesia sangat melimpah dan telah banyak dibudidayakan, ditandai
218 dengan adanya kebijakan pemerintah Indonesia. Menurut kebijakan energi nasional yang
219 tertuang dalam Peraturan Presiden Nomor 5 Tahun 2006, upaya pengamanan pasokan energi
220 dalam negeri dilakukan dengan menurunkan nilai elastisitas energi yang pada tahun 2006
221 tercatat sebesar 1,84, dengan target agar pada tahun 2025 nilainya menjadi kurang dari 1,0.
222 Salah satu komponen penting dalam bauran energi (energy mix) yang ditetapkan pemerintah
223 adalah bahan bakar nabati (biofuel), yang ditargetkan berkontribusi sebesar 5% pada tahun
224 2025. Berdasarkan data dari Berdasarkan data dari Direktorat Jenderal Perkebunan,
225 Kementerian Pertanian (2022) dalam Statistik Perkebunan Non Unggulan Nasional 2020-2022,
226 total luas areal perkebunan jarak pagar di Indonesia selama periode 2006-2022 tercatat

227 mencapai sekitar 486 ribu hektare, dengan total produksi sekitar 65 ribu ton. Data tabel luas
 228 area dan produksi pertahun dapat dilihat pada Tabel 1.

229 **Tabel 1.** Luas area dan produksi jarak pagar di Indonesia
 230 *Table 1. Area and production of J. curcas in Indonesia*
 231

Tahun <i>Year</i>	Luas Area (Ha) <i>Land Area</i>	Produksi (Ton) <i>Production</i>
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

232 Sumber : Direktorat Jenderal Perkebunan, Kementerian Pertanian (2022)
 233 *Source: Directorate General of Plantations, Ministry of Agriculture (2022)*

234 Keterangan:

235 *) Angka sementara tahun 2021

236 **) Angka sangat sementara tahun 2022

237 *Descriptiuon:*

238 *) *Preliminary figures for 2021*

239 **) *Very preliminary figures for 2022*

240

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

247 Berdasarkan klasifikasi kesesuaian lahan, Indonesia saat ini baru memiliki peta
 248 kesesuaian lahan berskala kecil, yaitu 1:1.000.000. Berdasarkan peta eksplorasi tersebut, total
 249 lahan yang berpotensi sesuai untuk budidaya jarak pagar diperkirakan mencapai sekitar 49,53
 250 juta hektar. Dari luas tersebut, lahan yang tergolong sangat sesuai mencakup sekitar 14,28 juta
 251 hektar, cukup sesuai sekitar 5,53 juta hektar, dan sesuai marginal sekitar 29,72 juta hektar.
 252 Wilayah dengan kategori sangat sesuai terbesar berada di Kalimantan seluas 4,72 juta hektar,
 253 diikuti oleh Papua, Maluku, dan Sulawesi dengan total sekitar 2,56 juta hektar. Sementara itu,
 254 lahan yang cukup sesuai banyak ditemukan di Kalimantan (1,71 juta hektar) dan Nusa
 255 Tenggara (1,26 juta hektar). Adapun kelas sesuai marginal paling luas terdapat di Sumatera
 256 (11,09 juta hektar) dan Kalimantan (11,03 juta hektar). Tabel 2 menyajikan luas lahan kering
 257 tahunan yang berpotensi untuk budidaya jarak pagar.

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

260 Table 2. The annual dry land areas in Indonesia suitable for *J. curcas* cultivation (Syakir,
 261 2010).

Pulau	Lahan kering semusim (ha)	Lahan kering tahunan (ha)	Luas total lahan kering (ha)
<i>Island</i>	<i>Seasonal dry land (ha)</i>	<i>Annual dry land (ha)</i>	<i>Total dry land area (ha)</i>
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

262

263 IDENTIFIKASI SENYAWA BIOAKTIF *Jatropha curcas*

264 Kandungan Senyawa Fitokimia *Jatropha curcas*

265 Tanaman jarak pagar (*Jatropha curcas* L.) merupakan spesies tropis dan subtropis yang
 266 memiliki daya adaptasi tinggi terhadap berbagai kondisi lingkungan. Tanaman ini tumbuh optimal pada
 267 daerah dengan ketinggian 0–500 meter di atas permukaan laut, suhu antara 20–28°C, serta curah hujan
 268 tahunan berkisar 600–1.200 mm. Jarak pagar dapat berkembang baik pada berbagai jenis tanah,
 269 termasuk tanah marginal, berbatu, maupun tanah berpasir yang memiliki drainase baik dan pH tanah 5–

270 6,5 (Tadesse & Tadesse, 2017; Yaqoob *et al.*, 2021). Secara geografis, tanaman ini memiliki
271 her, adistribusi luas di wilayah tropis dan subtropis, meliputi Amerika Tengah sebagai daerah asalnya,
272 kemudian menyebar ke Afrika, Asia, dan daerah tropis lainnya melalui introduksi manusia (G. Liu &
273 Mai, 2022; Pamba *et al.*, 2024). Di Indonesia, jarak pagar ditemukan hampir di seluruh wilayah,
274 terutama di daerah beriklim kering seperti Nusa Tenggara Timur, Sulawesi Selatan, dan sebagian Jawa,
275 menjadikannya tanaman potensial untuk dikembangkan pada lahan-lahan kurang produktif.

276 Tanaman Jarak pagar telah lama dikenal sebagai sumber bioaktif yang potensial,
277 terutama karena kandungan senyawa fitokimianya yang melimpah. Spesies ini mengandung
278 metabolit sekunder berupa alkaloid, fenolik, flavonoid, saponin, tannin, serta senyawa
279 terpenoid (Fatril *et al.*, 2025; Neupane *et al.*, 2021). Senyawa-senyawa ini berperan penting dalam
280 meningkatkan respons imun, aktivitas antibakteri, hingga fungsi antioksidan. Mekanisme kerja
281 senyawa bioaktif jarak pagar di antaranya adalah merusak membran sel bakteri, menghambat
282 sintesis protein mikroba, mengendapkan protein patogen, serta menstimulasi fagositosis dan
283 enzim pencernaan (Srinivasan *et al.*, 2019). Dalam bidang akuakultur, senyawa bioaktif ini
284 berpotensi digunakan sebagai imunostimulan alami, pengendali penyakit, dan pengganti
285 antibiotik sintetis yang selama ini menjadi isu utama dalam budidaya berkelanjutan. Tanaman
286 jarak pagar dapat dilihat pada Gambar 2.



287

288 Gambar 2. Tanaman jarak pagar (*Jatropha curcas*) (Kamaruddin *et al.*, 2024)
289 Figure 2. *J. curcas* plant (Kamaruddin *et al.*, 2024)

290 Kemampuan *Jatropha curcas* dalam menekan pertumbuhan *Vibrio* sp. memiliki keterkaitan
 291 erat dengan konsep eco-friendly aquaculture, karena mencerminkan pendekatan biologis dalam
 292 pengendalian penyakit yang ramah lingkungan. Senyawa bioaktif yang terkandung dalam jarak
 293 pagar terbukti memiliki aktivitas antibakteri yang mampu menghambat pertumbuhan dan
 294 metabolisme bakteri patogen tanpa menyebabkan efek toksik terhadap organisme akuatik
 295 (Takwin *et al.*, 2023). Mekanisme kerja senyawa tersebut meliputi kerusakan dinding sel,
 296 gangguan permeabilitas membran, serta inhibisi enzim esensial yang diperlukan untuk
 297 kelangsungan hidup bakteri (Liang *et al.*, 2021; Yan *et al.*, 2021), sehingga mampu menekan
 298 infeksi *Vibrio* sp. secara efektif dan meningkatkan pertumbuhan organisme budidaya. Berbeda
 299 dengan penggunaan antibiotik sintetis, pemanfaatan jarak pagar tidak menimbulkan residu
 300 berbahaya maupun resistensi mikroba di lingkungan perairan, sehingga dapat menjaga
 301 keseimbangan ekosistem mikroba alami. Kandungan senyawa fitokimia dari jarak pagar dapat
 302 dilihat pada Tabel 3.

303 Tabel 3. Kandungan senyawa fitokimia jarak pagar
 304 Table 3. Phytochemical contents of *J. curcas*

305

Senyawa Compound	<i>Jatropha curcas</i> (%)					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 & O.E, 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 & O.E, 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

306

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

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

319 Tabel 4. Kandungan proksimat nutrien jarak pagar (%)

320 *Table 4. Proximate nutrient composition of 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 <i>References</i>
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

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

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

326

327 Berdasarkan tabel 4. kandungan protein pada tepung biji jarak pagar sangat bervariasi.

328 Musa *et al.*, (2018) melaporkan kandungan protein tepung biji jarak pagar hanya 29,26±0,74%,

329 sedangkan temuan lainnya seperti Jimoh, *et al.*, (2020) dan Michael *et al.*, (2019) menemukan

330 kandungan kadar protein biji jarak pagar masing-masing 33,96-34,72% dan 37,68±0,01%.

331 Berbeda dengan temuan-temuan tersebut, Okomoda *et al.*, (2021), Y. Li *et al.*, (2018) dan

332 Montoya-Mejía *et al.*, (2017) mendapatkan kandungan protein yang lebih tinggi pada tepung
 333 biji jarak pagar masing-masing 55,29±0,39%, 58%, dan 55,85±0,34%. Kandungan protein
 334 yang bervariasi dari tepung biji jarak pagar disebabkan oleh beberapa faktor yaitu faktor
 335 lingkungan jarak pagar tersebut tumbuh, faktor metode ekstraksi minyak dengan proses ekstraksi
 336 yang kurang optimal menyisakan banyak minyak pada bungkil dan tepung biji jarak pagar
 337 sehingga akan mempengaruhi persentase kandungan protein, faktor kematangan dan proporsi
 338 kulit dengan bungkil pada saat panen dengan tingkat kematangan berbeda atau proporsi lebih
 339 banyak kulit akan menurunkan persentase protein pada tepung bungkil biji jarak pagar.

340 Pemanfaatan jarak pagar sebagai bahan baku sumber protein dapat mengurangi buangan
 341 limbah dan memberikan nilai tambah dalam penggunaannya sehingga mendorong akuakultur
 342 yang ramah lingkungan dan berkelanjutan (Ghosh & Bitra, 2020). Potensi pemanfaatan dalam
 343 konteks sumber bahan baku pakan akuakultur masih terbatas pada aspek bahan baku sumber
 344 protein dikarenakan untuk pemanfaatan sebagai sumber lemak akan ada komplik persaingan
 345 pemanfaatan dan ketersediaan karena minyak jarak pagar merupakan salah satu sumber utama
 346 bahan baku biodiesel.

347 Profil Asam Amino

348 Kandungan protein jarak pagar telah dilaporkan oleh Okomoda *et al.*, (2021) dan Li *et*
 349 *al.*, (2018) berkisar 55-58%, dengan profil asam amino esensial yang relatif lengkap. Profil
 350 asam amino disajikan pada Tabel 5.

351 Tabel 5. Profil asam amino esensial dan non esensial pada jarak pagar
 352 *Table 5. Essential and non-essential amino acid profile of 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 <i>Non-essential amino acid</i>					
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

353

354 Beberapa hasil penelitian pada tabel 5. menunjukkan bahwa pada jarak pagar jumlah
 355 kandungan asam amino nya tinggi dan jenis asam amino esensialnya lengkap, hal ini
 356 menggambarkan bahwa kualitas protein pada jarak pagar berkualiatas baik. Namun jumlah
 357 kandungan dari masing-masing jenis asam amino beberapa hasil penelitian bervariasi seperti
 358 yang ditunjukkan pada Tabel 5. hal tersebut berhubungan dengan kandungan protein yang juga
 359 bervariasi pada Tabel 4, dengan bervariasinya jumlah kandungan protein maka akan diikuti
 360 dengan nilai kandungan asam amino yang juga bervariasi karena asam amino merupakan
 361 turunan dari protein atau senyawa asam amino merupakan penyusun protein sehingga ketika
 362 jumlah protein berbeda maka jumlah masing-masing asam amino penyusunnya juga akan
 363 bervariasi atau berbeda. Dapat dinyatakan bahwa faktor-faktor yang mempengaruhi perbedaan

364 atau variasi kandungan protein bahan merupakan faktor yang sama dengan penyebab dari
365 kandungan asam amino yang bervariasi. meskipun kandungan asam amino tersebut bervariasi
366 nilai kandungan tersebut telah memenuhi nilai kebutuhan asam amino esensial pada ikan dan
367 krustase (Xing *et al.*, 2024). Profil kandungan jumlah dan jenis asam amino pada bahan baku
368 sangat penting dalam menentukan kelayakannya sebagai bahan baku sumber protein pakan
369 akuakultur.

370 Potensi jarak pagar sebagai sumber protein didukung juga oleh hasil penelitian Nepal *et*
371 *al.*, (2018) bahwa hasil isolat protein dari jarak pagar dibandingkan dengan isolat protein
372 kedelai menunjukkan jika nilai biologis nutrient jarak pagar dapat bersaing sebagai bahan baku
373 pengganti sumber protein bahan baku pakan konvensional seperti tepung ikan ataupun tepung
374 kedelai, namun kandungan *methionine* yang relatif rendah akan menjadi faktor pembatas
375 sehingga diperlukan kombinasi bahan baku sumber protein yang kandungan *methionine* tinggi
376 atau dapat juga dengan penambahan bahan asam amino *methionine* untuk melengkapinya
377 (Phasukarratchai *et al* 2012.; Nunes & Masagounder, 2022; Wang *et al.*, 2023).

378

379 Riset Tanaman Jarak pada Akuakultur

380 Pemanfaatan berbagai bagian tanaman jarak, seperti daun, buah, batang, dan akar,
381 menunjukkan potensi besar untuk dikembangkan dalam akuakultur karena kandungan senyawa
382 bioaktifnya, antara lain tanin, flavonoid, alkaloid, dan saponin. Senyawa-senyawa ini memiliki
383 fungsi penting sebagai antioksidan, antibakteri, dan imunostimulan yang berperan dalam
384 meningkatkan kesehatan organisme akuatik. Secara lebih spesifik, bagian tanaman jarak
385 mengandung senyawa aktif yang berbeda, daun umumnya kaya akan flavonoid dan saponin
386 yang berfungsi sebagai imunostimulan (Arifin *et al.*, 2017). Buah dan bijinya mengandung
387 alkaloid serta minyak yang bersifat antibakteri, sedangkan batang dan akar cenderung
388 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 jarak pagar dalam akuakultur dirangkum pada Tabel 6.

Tabel 6. Penelitian jarak pagar pada akuakultur
 Table 6. Selected research on *J. curcas* application in aquaculture

Biota <i>Biota</i>	Bagian Tanaman <i>Plant parts</i>	Hasil <i>Result</i>	Referensi <i>References</i>
	Detoksifikasi biji jarak pagar <i>Jatropha 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 jarak pagar panggang <i>Roasted jatropha 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
Ikan Lele (<i>Clarias gariepinus</i>)	Biji jarak pagar didetoksifikasi <i>Jatropha 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
	Fermentasi biji jarak pagar <i>Jatropha 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 jarak pagar <i>Jatropha seeds detoxified</i>	Penambahan biji jarak pagar terdetoksifikasi dalam pakan menurunkan pertumbuhan dan kelangsungan hidup ikan seiring peningkatan dosis.	Muhammad <i>et al.</i> , 2017

16	Tepung biji jarak pagar <i>Jatropha seed meal</i>	<p><i>The addition of detoxified Jatropha curcas seeds in feed reduced fish growth and survival as the dose increased.</i></p> <p>Ikan mampu mentoleransi jarak pagar yang didetoksifikasi hingga 13% (50% pengganti tepung ikan) tanpa menurunkan pertumbuhan dan pemanfaatan nutrisi.</p> <p><i>Fish can tolerate detoxified Jatropha up to 13% (50% fish meal replacement) without compromising growth and nutrient utilization.</i></p>	(Solomon <i>et al.</i> , 2016)
58	Larutan daun jarak pagar <i>Jatropha leaf extract</i>	<p>Persentase daya tetas telur tertinggi terdapat pada perlakuan dengan larutan 4 g L⁻¹ sebesar 86,6%.</p> <p>The highest egg hatchability percentage was found in the treatment with a 4 g L⁻¹ solution, at 86.6%.</p>	Mahyuddin <i>et al.</i> , 2020
	Tepung biji jarak pagar didetoksifikasi <i>Jatropha seed meal detoxified</i>	<p>Ikan dengan pakan protein nabati jarak pagar maupun protein ikan menunjukkan laju metabolisme dan pertumbuhan setara.</p> <p><i>Fish fed with plant-based protein from jatropha or fish protein showed equivalent metabolic rates and growth.</i></p>	Kumar <i>et al.</i> , 2010
	Biji jarak pagar <i>Jatropha seeds</i>	<p>Dosis optimal Jarak pagar adalah 597 ppm dengan LT₅₀ paling efektif.</p> <p><i>The optimum dose of Jatropha is 597 ppm with the most effective LT₅₀.</i></p>	Nurhidayanti, 2020
Ikan Mas (<i>Cyprinus carpio</i>)	Tepung biji jarak panggang <i>Roasted Jatropha seed meal</i>	<p>Bungkil jarak panggang 5 menit dapat menggantikan hingga 40% bungkil kedelai dalam pakan nila tanpa menurunkan pertumbuhan dan efisiensi ekonomi.</p> <p><i>Roasted jatropha meal for 5 minutes can replace up to 40% of soybean meal in tilapia feed without reducing growth and economic efficiency.</i></p>	Jimoh <i>et al.</i> , 2020
40	Tepung biji jarak pagar <i>Jatropha seed meal</i>	<p>Substitusi kedelai dengan jarak pagar hingga 100% meningkat lipid tubuh, akan tetapi menurunkan sedikit SGR.</p> <p><i>Substituting soybeans with up to 100% jatropha increased body lipids, but slightly decreased SGR.</i></p>	Krome <i>et al.</i> , 2016
	Phorbol ester jarak pagar <i>Jatropha phorbol ester</i>	<p>Fermentasi tepung jarak pagar 3% menghasilkan SR 100%, sedangkan tanpa fermentasi hanya SR 50%.</p> <p><i>Fermentation of 3% jatropha flour produces 100% SR, while without fermentation it only produces 50% SR</i></p>	De-Castro, 2010
Ikan Rohu (<i>Labeo rohita</i>)	Biji jarak pagar didetoksifikasi <i>Jatropha seeds detoxified</i>	<p>Substitusi protein kedelai dengan biji jarak pagar meningkatkan imunitas ikan rohu tanpa efek negatif darah dan histologi.</p> <p><i>Substituting soy protein with Jatropha seeds boosts the immunity of rohu fish without any negative effects on blood and histology.</i></p>	Fawole <i>et al.</i> , 2023
11	Biji jarak pagar fermentasi <i>Fermented Jatropha seeds</i>	<p>Biji jarak pagar fermentasi dapat menggantikan protein kedelai pada pakan rohu tanpa efek negatif kesehatan.</p> <p><i>Fermented Jatropha kernel meal can replace soy protein in Labeo rohita feed without any negative health effects.</i></p>	Phulia <i>et al.</i> , 2017

42

Ikan Tawes (<i>Barbonymus gonionotus</i>)	Ekstrak daun jarak pagar <i>Jatropha leaf extract</i>	Ekstrak daun jarak pagar meningkatkan daya tetas telur 84,00% dan kelangsungan hidup ikan tawes 85,24%. <i>Jatropha 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 jarak pagar <i>Jatropha leaf extract</i>	Ekstrak daun jarak 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 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 jarak pagar <i>Jatropha seeds</i>	Kombinasi 18,75% fish silase + 39,75% jarak pagar menggantikan tepung ikan dan meningkatkan pertumbuhan serta kelangsungan hidup udang. <i>A combination of 18.75% fish silage + 39.75% Jatropha replaced fish meal and improved shrimp growth and survival.</i>	Rodríguez-González <i>et al.</i> , 2018
	Biji jarak pagar <i>Jatropha seeds</i>	Tepung biji jarak pagar menggantikan tepung ikan, meningkatkan pertumbuhan dan nutrisi tubuh. <i>Jatropha kernel meal replaces fish meal, improving growth and nutrition.</i>	Harter <i>et al.</i> , 2011

41

401

402 **Kecernaan Jarak Pagar**

403 Kecernaan merupakan salah satu aspek penting dalam pemilihan bahan baku pakan
404 akuakultur. Nilai kecernaan suatu bahan baku menggambarkan seberapa besar bahan tersebut
405 mampu dicerna oleh organisme ikan untuk kemudian dapat diserap melalui usus dan digunakan
406 untuk kepentingan metabolisme, pembentukan sel tubuh dan jaringan serta aktivitas imun
407 (Mello *et al.*, 2025), jika suatu bahan baku tidak tercerna akan terbuang sebagai feses ke
408 lingkungan menjadi limbah (Barbosa *et al.*, 2024). Berikut beberapa hasil Kecernaan tepung
409 bungkil biji jarak pagar tabel 7.

410 Tabel 7. Kecernaan tepung bungkil biji jarak pagar

411 *Table 7. Digestibility of J. curcas meal*

Metode perlakuan Jarak pagar <i>Jatropha 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

412

413 Studi pencernaan bungkil biji jarak pagar pada ikan di Tabel 7. menunjukkan perlakuan
414 pemanasan 5 menit menghasilkan nilai pencernaan bahan baku hingga 80,83±2,61%, pencernaan
415 protein 87,72±0,52%, pencernaan lemak 88,09±0,47% dan pencernaan energi 85,86±1,68% pada
416 ikan nila (Jimoh, *et al.*, 2020). Hasil tersebut didukung oleh Montoya-Mejía *et al.*, (2017) yang
417 melaporkan bahwa perlakuan Hexane 1,5/10 p/v menunjukkan nilai pencernaan protein yang
418 hampir sama 87,9±0,7% sedangkan pencernaan bahan 73,0±1,7%. Flora *et al.*, (2023)
419 melaporkan bahwa penggunaan bungkil jarak pagar yang diekstruksi meningkatkan pencernaan
420 protein hingga 80% dibanding tanpa perlakuan. Proses detoksifikasi melalui perlakuan biologi,
421 fisik dan kimia terbukti dapat menurunkan kadar anti nutrisi bahan tersebut sehingga
422 meningkatkan nilai pencernaan bahan dan pencernaan protein. Kecernaan bahan baku juga dapat
423 di tingkatkan melalui aplikasi enzim spesifik terhadap jenis anti nutrisi tertentu seperti yang
424 telah dilakukan oleh (Krome *et al.*, 2016), menemukan bahwa aplikasi enzim phytase
425 menurunkan kandungan bahan anti nutrisi pitat hingga 56% sehingga meningkatkan pencernaan
426 mineral. Berberapa hasil studi tersebut menunjukkan nilai pencernaan yang cukup tinggi pada
427 Jarak pagar sehingga sangat layak untuk digunakan sebagai sumber protein pakan akukultur.

428 **Pertumbuhan Ikan dan Udang**

429 Pertumbuhan organisme budidaya menjadi salah satu parameter penting dalam mengukur
430 keberhasilan pemilihan bahan baku sumber protein pada pakan ikan. Menurut Takwin dan
431 Pratama, (2025), penggunaan jarak pagar dapat meningkatkan pertumbuhan ikan dan udang.
432 Beberapa kajian penggunaan jarak pagar tersaji pada Tabel 8.

433 Table 8. Inklusi tepung jarak pagar
434 *Table 8. Inclusion of **J. curcas** meal*

Inklusi (%) <i>Inclusion (%)</i>	Substitusi <i>Substitution</i>	Metode detoksifikasi <i>Detoxification method</i>	Inklusi tepung jarak pagar (%) <i>Inclusion of Jatropha curcas meal (%)</i>		Referensi <i>References</i>
			Hasil Result		
			LPS <i>SGR</i>	RKP <i>FCR</i>	
25	Tepung kedelai <i>Soybean meal</i>	Ekstraksi <i>Extraction</i>	Kontrol TK. 1,65±0,06 dan JP. 1,77±0,04 (g hari ⁻¹) <i>Control TK. 1.65±0.06 and JP. 1.77±0.04 (g day⁻¹)</i>	Kontrol 1,30±0,18 dan JP. 1,19±0,25 <i>Control 1.30±0.18 and JP. 1.19±0.25</i>	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±0,05 menjadi 1,68±0,10 (g hari ⁻¹) <i>Without soaking 0.86 ± 0.05 to 1.68 ± 0.10 (g day⁻¹)</i>	Tanpa perendaman 3,16±0,14 menjadi 1,20±0,56 <i>Without soaking 3.16±0.14 to 1.20±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±0,36 JP. 0,56±0,06. (g hari ⁻¹) <i>Control TK. 0,64±0,36 JP. 0,56±0,06 (g day⁻¹)</i>	Kontrol TK. 1,18±0,25 dan JP. 1,21±0,0 <i>Control TK. 1.18±0.25 and JP. 1.21±0.0</i>	Jimoh <i>et al.</i> , 2020
18,75±39,75 (silase ikan/ <i>Fish silage</i>)	Tepung ikan <i>Fish meal</i>	Perendaman p:v hexane (1,5:10) +Pencampuran Fermentasi <i>Soaking in hexane (1,5:10 p:v) + Fermentation mixing</i>	LPS Kontrol TI. 1,61±0,07, JP.+SI. 1,60±0,09 (% hari ⁻¹) <i>LPS Control TI. 1.61 ± 0.07, JP. +SI. 1.60 ± 0.09 (% day⁻¹)</i>	-	Rodríguez-González <i>et al.</i> , 2018
20	Tepung kedelai <i>Soybean meal</i>		Kontrol TK. 1,12±0,01 JP. 1,21±0,02 (g hari ⁻¹) <i>Control TK. 1.12 ± 0.01, JP. 1.21 ± 0.02 (g day⁻¹)</i>	Kontrol TK. 1,87±0,01 dan JP. 1,67±0,03 <i>Control TK. 1.87±0.01 and JP. 1.67±0.03</i>	Phulia <i>et al.</i> , 2017

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

437 *Description: LPS = Specific growth rate; RKP = Feed conversion ratio; JP = **Jatropha curcas**; TK = Soybean*
438 *meal; TI = Fish meal; SI= Fish silase SGR = Specific growth rate; FCR = Feed conversion ratio.*

439

63

440 Penelitian terkait inklusi tepung biji jarak pagar pada pakan akuakultur Tabel 8.
441 menunjukkan hasil yang berbeda, tergantung pada tingkat substitusi, metode detoksifikasi dan
442 jenis bahan pembanding. Jimoh *et al.*, (2024), menemukan bahwa inklusi 25% tepung jarak
443 pagar yang di ekstraksi (80% etanol) sebagai pengganti tepung kedelai pada ikan lele
444 menunjukkan laju pertumbuhan spesifik $1,77 \pm 0,04$ (g hari⁻¹) lebih tinggi dibanding kontrol
445 tepung kedelai hanya $1,65 \pm 0,06$ (g hari⁻¹) selain itu efisiensi pakan pada perlakuan jarak pagar
446 menunjukkan nilai rasio konversi $1,19 \pm 0,25$ lebih baik dibandingkan kontrol tepung kedelai
447 $1,30 \pm 0,18$ hasil ini menunjukkan efektivitas penghilangan anti nutrisi melalui proses tersebut.
448 Perlakuan tepung bungkil biji jarak pagar dengan perendaman selama 72 jam dibandingkan
449 tepung bungkil biji jarak pagar tanpa perlakuan pada ikan lele menunjukkan hasil yang lebih
450 baik untuk nilai LPS dan efisiensi pakan, LPS kontrol jarak pagar tanpa perlakuan $0,86 \pm 0,05$
451 meningkat menjadi $1,68 \pm 0,10$ (g hari⁻¹), RKP kontrol dari $3,16 \pm 0,14$ menjadi lebih efisien
452 $1,20 \pm 0,56$ setelah perlakuan perendaman (Okomoda *et al.*, 2021). Sebaliknya penggantian
453 dalam jumlah yang tinggi hingga 40% tepung kedelai dengan tepung jarak pagar yang
454 dipanaskan selama lima menit pada ikan nila menunjukkan performa laju pertumbuhan spesifik
455 $0,56 \pm 0,06$ (% hari⁻¹) nilai lebih kecil di banding kontrol tepung kedelai $0,64 \pm 0,36$ (% hari⁻¹),
456 begitu pula dengan nilai RKP kontrol $1,18 \pm 0,25$ lebih baik dari perlakuan jarak pagar $1,21 \pm 0,0$,
457 sebagaimana yang dilaporkan oleh (Jimoh, *et al.*, 2020). Jika dibandingkan dengan penggunaan
458 protein nabati lain nya oleh penelitian Maundu *et al.*, (2024) penggunaan tepung bunga
459 matahari dan tepung biji kapuk hanya dapat digunakan hingga 25%. Penelitian Workagegn *et*
460 *al.* (2013), juga menunjukkan bahwa penggunaan 10% tepung jarak pagar yang dipanaskan
461 dapat meningkatkan efisiensi pakan dan pertumbuhan ikan, memperkuat dugaan bahwa
462 penggunaan dosis rendah lebih aman dan efektif digunakan. Sementara itu Rodríguez-
463 González *et al.*, (2018), melaporkan kombinasi 18,75% tepung jarak pagar dan 39,75% silase
464 ikan sebagai pengganti tepung ikan pada udang vaname menghasilkan laju pertumbuhan

465 spesifik $1,60 \pm 0,09$ (% hari⁻¹) sama dengan kontrol tepung ikan $1,61 \pm 0,07$ (% hari⁻¹), hal ini
466 menunjukkan bahwa kombinasi antara protein nabati dan hewani dapat saling melengkapi
467 masing-masing nutrien bahan. Perlakuan fermentasi tepung bungkil pada ikan rohu oleh Phulia
468 *et al.*, (2017) menunjukkan laju pertumbuhan $1,21 \pm 0,02$ (g hari⁻¹) lebih tinggi dibanding laju
469 pertumbuhan spesifik kontrol tepung kedelai $1,12 \pm 0,01$ (g hari⁻¹) dan efisiensi pakan untuk
470 perlakuan tepung bungkil jarak pagar lebih efisien dengan RKP $1,67 \pm 0,03$ dibanding kontrol
471 tepung kedelai $1,87 \pm 0,01$. secara umum penggunaan tepung jarak pagar terdetoksifikasi untuk
472 pakan akuakultur dapat menggantikan tepung kedelai dan tepung ikan berkisar antara 10%
473 hingga 40% dengan memberikan tingkat pertumbuhan ikan atau udang yang sama dengan
474 penggunaan sumber bahan yang selama ini digunakan dalam pakan akuakultur.

475

476 **Imunostimulan**

477 Jarak pagar memiliki banyak manfaat termasuk kesehatan manusia dan hewan. Laporan
478 dari Oskoueian *et al.* (2021) bahwa jarak pagar memiliki berbagai aktivitas biologis seperti
479 antioksidan, antibakteri dan anti inflamasi. Secara tradisional jarak pagar dapat dijadikan
480 sebagai obat. Daun jarak pagar telah digunakan sebagai zat antiseptik selama proses persalinan,
481 bagian akar juga digunakan untuk mengobati penyakit menular seksual, dan bijinya digunakan
482 untuk mengobati penyakit kulit (Adeyemo & Oluyede, 2015). Akar jarak pagar diketahui
483 berkhasiat sebagai penawar gigitan ular, sementara minyaknya telah lama dimanfaatkan dalam
484 pengobatan berbagai penyakit kulit. Kandungan asam linoleat (C18:2) pada jarak pagar
485 mencapai 36%, dengan konsentrasi tertinggi terdapat pada daun dan terendah pada akar,
486 sehingga berpotensi digunakan dalam perawatan kulit (Syed *et al.*, 2013).

487 Jarak pagar juga telah digunakan secara luas dengan memanfaatkan kandungan senyawa
488 bioaktif. Seluruh bagian tanaman ini, seperti daun, kulit batang, dan cangkang, kaya akan
489 flavonoid serta polifenol. Kedua senyawa tersebut berperan penting sebagai antioksidan,

490 pelindung terhadap reaksi alergi, penghambat agregasi trombosit, antiinflamasi, antimikroba,
 491 penangkal toksisitas hati, serta pencegah tukak lambung, infeksi virus, dan perkembangan
 492 tumor (Syed *et al.*, 2013). Ekstrak metanol dapat digunakan sebagai kardiovaskular pada
 493 hewan. Getah yang dihasilkan dari batang bermanfaat untuk mengendalikan pendarahan luka,
 494 getah ini mengandung alkaloid seperti *curcain*, *jatrophine* dan *Jatropha* yang dapat juga
 495 digunakan sebagai antikanker. Selain itu, beberapa senyawa diterpenoid dari jarak pagar
 496 menunjukkan potensi terapeutik sebagai antihipertensi, antiretroviral, antiinflamasi, dan
 497 antibakteri. Tidak hanya itu, senyawa ini juga memiliki kemungkinan berfungsi sebagai
 498 halusinogen, antioksidan tambahan, maupun pemanis alami (Saeed *et al.*, 2017). Penelitian
 499 terkait jarak pagar sebagai dapat dilihat pada Tabel 9.

500 Tabel 9. Jarak pagar sebagai imunostimulan udang dan ikan
 501 *Table 9. J. curcas as an immunostimulant of shrimp and fish*

Bagian Tanaman <i>Plant parts</i>	Biota <i>Biota</i>	Perlakuan Terbaik <i>Best result</i>	Hasil Result	Referensi <i>References</i>
Ekstrak Jarak Pagar <i>Jatropha extract</i>	Udang Vaname <i>(Litopenaeus vannamei)</i>	Pakan dengan 3% ekstrak jarak pagar dan diinfeksi <i>V. harvey</i> <i>Feed with 3% Jatropha 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 <i>survival rate</i> (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 Jarak Pagar <i>Jatropha extract</i>	Udang Vaname <i>(Litopenaeus vannamei)</i>	Pakan dengan 3% ekstrak jarak pagar dan di infeksi <i>V. parahaemolyticus</i> <i>Feed with 3% Jatropha 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 jarak pagar	Ikan Nila <i>(Oreochromis niloticus)</i>	Biji Jarak difermentasi selama 21 hari setelah	Nilai parameter hematologi pada perlakuan TRT 5	Okomoda <i>et al.</i> , 2020

Fermentation of Jatropha seeds

melalui proses hidrotermal (PRT T). *Jatropha seeds were fermented for 21 days after undergoing a hydrothermal process (PRT T).*

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%. *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%.*

502

503 Tanaman jarak pagar memiliki efektivitas tinggi sebagai antibakteri patogen serta
504 berperan dalam menjaga kesehatan organisme akuatik, termasuk ikan dan udang. Hasil
23 505 penelitian secara *in vitro* bahwa ekstrak daun jarak pagar efektif menghambat pertumbuhan
506 bakteri patogen perairan, seperti *Aeromonas hydrophila* pada lingkungan air tawar dan *V.*
66 507 *harveyi* pada perairan payau, dengan zona hambat sebesar $11,3 \pm 0,2$ mm (Arifin *et al.*, 2017).
9 508 Penelitian secara *in vivo* yang dilakukan oleh Takwin *et al.*, (2023) melaporkan bahwa
509 penggunaan ekstrak daun jarak pagar mampu menekan pertumbuhan *V. parahaemolyticus*,
510 meningkatkan respons imun, serta memperbaiki tingkat kelangsungan hidup udang vaname
71 511 yang terinfeksi vibriosis. Selanjutnya, Okomoda *et al.*, (2020) melaporkan bahwa biji jarak
512 pagar yang difermentasi dapat meningkatkan respons imun ikan. Penggunaan biji jarak pagar
513 pada ikan juga tidak menimbulkan efek toksik, asalkan dilakukan perlakuan pendahuluan
33 514 berupa pemanggang, detoksifikasi, atau fermentasi. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian
515 Phulia *et al.*, (2017) dan Fawole *et al.*, (2022) bahwa biji jarak pagar yang telah melalui proses
516 perlakuan, seperti detoksifikasi atau fermentasi, terbukti aman untuk dikonsumsi ikan rohu
517 karena tidak memberikan efek negatif terhadap kesehatan, termasuk profil darah, histologi
518 organ (hati dan usus), maupun tingkat kelangsungan hidup. Selain itu, penggunaannya juga
519 dapat meningkatkan pertumbuhan, efisiensi pemanfaatan pakan, serta respons imun ikan,

520 sehingga berpotensi digunakan sebagai alternatif sumber protein nabati pengganti tepung
 521 kedelai atau tepung ikan.

522

523 **ANTI NUTRISI DAN TOKSISITAS SERTA METODE DETOKSIFIKASI**

524 Jarak pagar mengandung zat bersifat toksik dan antinutrisi yang dapat memberikan efek
 525 negatif bahkan kematian terhadap organisme akuakultur. Penggunaan Jarak pagar secara
 526 langsung tanpa perlakuan detoksifikasi dan dalam jumlah yang tinggi di pakan menyebabkan
 527 toksisitas dan anti nutrisi pada level yang tidak aman dan masih aktifnya bahan tersebut akan
 528 berefek negatif terhadap organisme ikan. Penelitian Nurhidayanti (2020), menunjukkan batas
 529 dosis 200 ppm belum memberikan efek berbahaya namun pada paparan dosis 551,271 ppm
 530 bubuk Jarak pagar selama 24 jam dapat menyebabkan kematian sebanyak 50% benih ikan nila
 531 (*Oreochromis niloticus*). *Curcin* dan *Phorbol ester* merupakan zat paling beracun pada Jarak
 532 pagar, sehingga perlu dihilangkan dengan cara detoksifikasi untuk bisa menurunkan efek
 533 negatifnya (Shukla *et al.*, 2015). Selain itu, Jarak pagar mengandung pitat yang merupakan zat
 534 anti nutrisi bagi ikan (Baros *et al.*, 2024). Berikut kandungan anti nutrisi jarak pagar pada Tabel
 535 10.

536 Table 10. Kandungan anti nutrisi tanaman jarak pagar

537 *Table 10. Anti-nutritional content of J. curcas*

¹ Pitat ¹ Phytic	¹ Tanin ¹ Tannin	² Inhibitor Tripsin 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

538 Keterangan : angka 1 superskrip menunjukkan satuan g 100g⁻¹ dan angka 2 superskrip menunjukkan satuan mg
 539 g⁻¹

540 *Description: The superscript number 1 indicates the unit g 100g⁻¹ and the superscript number 2 indicates the*
 541 *unit mg g⁻¹.*

542

543
 544 Perlakuan detoksifikasi pada perlakuan biologis, perlakuan fisik, dan kimia pada tabel
 545 10. telah terbukti secara signifikan dapat menurunkan zat berbahaya pada Jarak pagar (Abou-
 546 Arab *et al.*, 2019). Batas kandungan yang dapat di toleransi pada pakan akuakultur menurut
 547 Ghosh *et al.*, (2021) *Phorbol ester* 0,11 mg g⁻¹, *Lectin* 51 mg g⁻¹, *Trypsin inhibitor* 24,8 mg g⁻¹,
 548 *Phytate* 0,5 g 100g⁻¹ dan Saponin g 100g⁻¹.

549 **Perlakuan Biologis**

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

555 Tabel 11. Kandungan anti nutrisi dan zat toksik pada tepung biji jarak pagar fermentasi
 556 *Table 11. Anti-nutritional and toxic contents of fermented J. curcas kernel meal*

Perubahan nilai kandungan <i>Changes in content value</i>						
Anti nutrisi <i>Anti-nutrition</i>	Sebelum <i>Before</i>	Sesudah <i>After</i>	Sebelum <i>Before</i>	Sesudah <i>After</i>	Sebelum <i>Before</i>	Sesudah <i>After</i>
Pitat <i>Phytic</i>	-	-	16,1±1,2 mg g ⁻¹	9,2±0,4 mg g ⁻¹	-	-
Tanin <i>Tannin</i>	0,37%	0,23%	-	-	-	-
Tripsin inhibitor <i>Trypsin inhibitor</i>	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 <i>Lectin</i>	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 <i>Saponin</i>	-	-	-	-	3,05±0,17%	0,42±0,07%
Phorbol ester <i>Phorbol ester</i>	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 <i>Phytic acid</i>	6,08%	1,70%	-	-	-	-
Oksalat	0,69%	0,56%	-	-	-	-

Oxalate

Metode fermentasi	<i>Solid State Fermentation (SSF) Aspergillus versicolor Fermentation method</i>	<i>Bacillus licheniformis</i>	<i>Mucor circinelloides SCYA25</i>
Referensi	Veerabhadrapa <i>et al.</i> , 2014	Phengnuam & Suntornsuk, 2013	Zhang <i>et al.</i> , 2021

References

557 Keterangan : TIU; unit tripsin inhibitor.

558 *Description: TIU; tripsin inhibitor unit.*

559

560 Fermentasi terbukti efektif dalam mengurangi kandungan anti nutrisi dan senyawa toksik
 561 pada tepung bungkil biji jarak berdasarkan bukti data Tabel 11. Veerabhadrapa *et al.*, (2014)
 562 melaporkan bahwa fermentasi padat dengan *Aspergillus versicolor* CJS-98 secara signifikan
 563 mengurangi kadar asam pitat, *phorbol ester*, glikosida siaogenik, lektin, tanin, dan tripsin
 564 inhibitor.

565 Temuan ini sejalan dengan Phengnuam & Suntornsuk (2013) yang menunjukkan
 566 *Bacillus licheniformis* mampu menurunkan kadar *phorbol ester* sebesar 62%, tripsin inhibitor
 567 75% dan fitat 42%. Selanjutnya Handajani *et al.*, (2021) juga mencatat penurunan *phorbol ester*
 568 dari 2,97 menjadi 0,625 $\mu\text{g g}^{-1}$ setelah fermentasi dengan *Aspergillus niger* selama tiga hari.
 569 Dukungan diberikan oleh Najjar *et al.*, (2014) yang mengidentifikasi kemampuan beberapa
 570 fungi lain seperti *Cladosporium sp.*, *Paecilomyces sp.* dan *Trichoderma spp.*, dalam
 571 mengurangi *phorbol ester*. Secara keseluruhan, hasil-hasil tersebut menegaskan bahwa
 572 fermentasi dengan berbagai mikroorganisme efektif untuk mendetoksifikasi tepung bugkil biji
 573 jarak pagar dan meningkatkan kualitas nya sebagai bahan baku pakan akuakultur.

574 **Perlakuan Fisik**

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

578

579

580

581 Tabel 12. Kandungan antinutrisi tepung bungkil biji jarak pagar perlakuan fisik

582 Table 12. Anti-nutrient contents of *J. curcas* kernel meal produced through physical process

Anti nutrisi <i>Anti-nutritional</i>	Perubahan nilai kandungan <i>Change of anti-nutritional content</i>					
	Sebelum <i>Before</i>	Sesudah <i>After</i>	Sebelum <i>Before</i>	Sesudah <i>After</i>	Sebelum <i>Before</i>	Sesudah <i>After</i>
Pitat <i>Phytic</i>	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 <i>Trypsin inhibitor</i>	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 <i>Phytic acid</i>	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 <i>Oxalate</i>	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 siaogenik <i>Cyanogenic glycosides</i>	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 <i>Physical treatment method</i>	Perebusan air 90'(100°C) <i>Boiling in water for 90 minutes (100°C)</i>		Perendaman air suling 72 jam <i>Soaking in distilled water for 72 hours</i>		Pemanggangangan 30'(150°C) <i>Roasting for 30 minutes (150°C)</i>	
Referensi <i>References</i>	Musa <i>et al.</i> , 2018		Okomoda <i>et al.</i> , 2021		Musa <i>et al.</i> , 2021	

583

584 Perlakuan fisik pada Tabel 12, seperti perebusan dan perendaman air secara efektif
 585 mangurangi kadar anti nutrisi dan senyawa toksik pada tepung biji jarak pagar. Musa *et al.*,
 586 (2018) melaporkan perendaman air pada suhu 100°C selama 90 menit dapat menurunkan asam
 587 pitat 12,66% menjadi 0,67%, *oxalate* 1,16% menjadi 0,23%, *cyanogenic glycosides* 0,81%
 588 menjadi 0,32%, pitat 3,54 % menjadi 0,32% dan *trypsin inhibitor* 3,01% menjadi 0,48%.
 589 penurunan ini menunjukkan proses pemanasan dapat memecah dan mendegradasi senyawa anti
 590 nutrisi pada suhu tinggi.

591 Hasil tersebut diperkuat oleh Penelitian Okomoda *et al.*, (2021) Perlakuan perendaman
 592 dengan air suling hingga 72 jam. Perlakuan ini dapat mangurangi kadar senyawa anti nutrisi

593 seperti asam pitat 12,29% menjadi 5,82%, *oxalate* 1,15% menjadi 0,41%, *cyanogenic* 0,83%
 594 menjadi 0,23%, *phytate* 3.49% menjadi 0,04% dan *trypsin inhibitor* 2,99% turun menjadi
 595 1,91%. Turunnya berbagai kandungan zat-zat anti nutrisi tersebut merubah komposisi prosimat
 596 nutrisi Jarak pagar dan dapat meningkatkan nilai pencernaan bahan baku pada ikan.

597 **Perlakuan Kimia**

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

601 Tabel 13. Kandungan antinutrisi tepung bungkil biji jarak pagar yang diberikan perlakuan
 602 kimia
 603 *Table 13. Anti-nutritional conten of J. curcas kernel meal produced through chemical*
 604 *treatments*
 605

Perubahan nilai kandungan				
<i>Changes in content value</i>				
Anti nutrisi	Sebelum	Sesudah	Sebelum	Sesudah
<i>Anti-nutrients</i>	<i>Before</i>	<i>After</i>	<i>Before</i>	<i>After</i>
Tannin <i>Tannin</i>	-	-	0,74 ± 0,03 g kg ⁻¹	0,21 ± 0,01 g kg ⁻¹
Tripsin inhibitor <i>Trypsin inhibitor</i>	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 <i>Phorbol ester</i>	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 <i>Phytic acid</i>	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 <i>Oxalate</i>	2,42±1,18 mg g ⁻¹	0,42±0,18 mg g ⁻¹		
Alkaloid <i>Alkaloid</i>	2,67±0,16 mg g ⁻¹	0,00±0,00 mg g ⁻¹		
Metode perlakuan kimia <i>Chemical treatment method</i>	Etanol 80%(rasio JP 1:2 etanol) <i>Ethanol 80%(ratio JP 1:2 ethanol)</i>		90% ethanol (rasio 1: JP 10) <i>90% ethanol (ratio 1: JP 10)</i>	
Referensi <i>References</i>	Jimoh <i>et al.</i> , 2024		Fawole <i>et al.</i> , 2018	

606 Keterangan : TIU=Unit inhibitor tripsin, TI = Inhibitor Tripsin, JP= jarak pagar.
 607 *Description: TIU; trypsin inhibitor unit, TI; Tripsin Inhibitor, JP; jatropha curcas.*

608 Perlakuan kimia menunjukkan penurunan kandungan anti nutrisi dan senyawa toksik
609 yang ditunjukkan kan pada tabel 13. Perlakuan dengan perendaman metanol 80% pada rasio
610 1:2 selama 72 jam dapat menurunkan anti nutrisi *trypsin inhibitor* 95%, mereduksi *phorbol*
611 *ester* 85% dan *oxalate* hingga 82% (Jimoh *et al.*, 2024). Perendaman dengan etanol/metanol
612 (50/50) selama 8 jam dapat menurunkan *phorbol ester* sebanyak 97.30% (Guedes *et al.*, 2014).
613 Penggunaan *sodium bikarbonat* dan *sodium hydroxide* dapat menurunkan *phorbol ester*
614 sebanyak 55% dan menghilangkan *curcin* secara total (Elangovan *et al.*, 2013).

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

620 **PROSPEK PENGEMBANGAN MASA DEPAN *Jatropha curcas***

621 Potensi tanaman jarak pagar dalam pengembangan akuakultur berkelanjutan sangat
622 besar, karena mengandung senyawa fitokimia yang berfungsi sebagai aditif pakan alami, agen
623 pengendali patogen, dan *imunostimulan* (Masri *et al.*, 2025). Senyawa ini membantu
624 meningkatkan kesehatan dan daya tahan ikan terhadap penyakit tanpa adanya ketergantungan
625 terhadap bahan kimia sintesis, sehingga mendukung sistem budidaya yang lebih ramah
626 lingkungan dan berkelanjutan. Pengembangan bioteknologi, seperti fermentasi dan pengolahan
627 senyawa bioaktif, memungkinkan peningkatan keamanan dan efektivitas penggunaan produk
628 jarak pagar dalam pakan ikan. Selain aspek ekologis, penggunaan jarak pagar juga berpotensi
629 memberikan keuntungan ekonomi bagi petani dan pelaku usaha lokal melalui penyediaan
630 bahan baku pakan yang lebih murah dan bersumber dari produk lokal. Pengelolaan yang tepat
631 terhadap senyawa antinutrisi dan toksin dalam jarak pagar merupakan kunci keberhasilan
632 penggunaannya agar aman dan efektif dalam mendukung keberlanjutan sektor akuakultur.

633 Selama lima tahun terakhir, tren penelitian menekankan pentingnya integrasi antara
634 bioteknologi, formulasi pakan, mikrobiologi, dan teknologi berkelanjutan untuk
635 mengoptimalkan pemanfaatan jarak pagar dalam akuakultur (Liu *et al.*, 2024).

636 **Bioteknologi Molekuler**

637 Dalam kurun lima tahun terakhir, arah penelitian terkait jarak pagar sebagai bahan baku
638 pakan lebih banyak difokuskan pada upaya menurunkan kandungan senyawa toksik,
639 khususnya *phorbol esters*, yang selama ini menjadi hambatan utama dalam pemanfaatannya
640 (Neu *et al.*, 2018; Cao *et al.*, 2025). Program peningkatan varietas rendah toksin dipandang
641 sebagai langkah strategis, karena secara langsung berhubungan erat dengan aspek keamanan
642 pangan serta regulasi internasional (Ardiyanti & Marfu'ah, 2025). Upaya ini tidak lagi terbatas
643 pada pengembangan konvensional berbasis seleksi genotipe dengan kandungan *phorbol ester*
644 rendah. Saat ini, pendekatan tersebut mulai dilengkapi dengan strategi bioteknologi molekuler
645 yang lebih inovatif (Gangwar & Shankar, 2020).

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

654 Epigenetik berbasis *CRISPR-Cas9* menunjukkan evaluasi respon toksik pada tingkat
655 genom dan mempercepat pemuliaan varietas Jarak pagar yang aman dikonsumsi (Dai *et al.*,
656 2021). Integrasi molekuler ini diproyeksikan dapat mempercepat proses pemuliaan varietas
657 *Jatropha curcas* yang aman dikonsumsi dan juga memiliki kandungan nutrisi yang tinggi,

658 sesuai dengan prinsip produksi akuakultur berkelanjutan (Yadav *et al.*, 2025). Seiring dengan
659 semakin ketatnya regulasi internasional terkait bahan baku pakan, keberhasilan strategi ini akan
660 menjadi faktor utama dalam meningkatkan akseptabilitas dan penerapan Jarak pagar sebagai
661 sumber alternatif dalam industri budidaya perikanan (Jimoh *et al.*, 2024).

662 **Fermentasi dan Sinbiotik**

663 Integrasi teknologi fermentasi pada bungkil Jarak pagar menunjukkan peluang strategis
664 dalam formulasi pakan fungsional sektor akuakultur (Okomoda *et al.*, 2020). Fermentasi
665 *Bacillus* sp. dan *Lactobacillus acidophilus* terbukti meningkatkan nutrisi dan menurunkan
666 kadar *phorbol esters* (Fajingbesi *et al.*, 2019). Hasil penelitian mengindikasikan bahwa
667 fermentasi dapat meningkatkan bioavailabilitas protein serta degradasi senyawa toksik (Gomes
668 *et al.*, 2022). Hasil ini menegaskan bahwa aplikasi probiotik pada bungkil Jarak pagar memiliki
669 peran ganda, mengurangi toksisitas sekaligus memperkaya nilai nutrisi, serta mendukung
670 kesehatan ikan dan keberlanjutan budidaya (Levi *et al.*, 2022).

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

679 Secara keseluruhan, Jarak pagar memiliki prospek strategis sebagai bahan baku alternatif
680 dalam akuakultur berkelanjutan. Integrasi inovasi bioteknologi dan konsep pakan sinbiotik
681 menjadikannya sumber yang tidak hanya aman dan bernutrisi tetapi juga mendukung efisiensi
682 produksi dan keamanan pangan, dengan demikian Jarak pagar dapat diposisikan sebagai

683 komoditas masa depan yang berperan penting dalam transisi menuju sistem akuakultur global
684 yang berkelanjutan, ramah lingkungan, dan tangguh terhadap tantangan perubahan iklim.

685

686 **KESIMPULAN DAN REKOMENDASI**

687 *Jatropha curcas* memiliki potensi strategis sebagai sumber protein nabati alternatif
688 dalam pakan akuakultur berkelanjutan. Kandungan proteinnya yang tinggi 55-57% dengan
689 profil asam amino esensial yang lengkap menjadikannya kompetitif dibandingkan tepung ikan
690 dan kedelai. Selain itu, senyawa bioaktif seperti flavonoid, saponin, dan tanin berfungsi sebagai
691 imunostimulan alami, meningkatkan ketahanan organisme budidaya terhadap penyakit.
692 Berbagai metode detoksifikasi biologis melalui fermentasi mikroba terbukti efektif
693 menurunkan toksisitas *curcin* dan *phorbol esters*, sehingga membuka peluang penerapan Jarak
694 pagar dalam skala industri pakan. Jarak pagar telah dibudidayakan secara komersial dan
695 eksperimental di banyak negara, termasuk Indonesia. Meski tantangan teknis dan ekonomi
696 masih ada, potensi integrasinya ke dalam sistem akuakultur berkelanjutan dan ekonomi sirkular
697 sangat prospektif, terutama jika didukung pengolahan bioteknologi yang menekan kadar toksin.
698 Dengan demikian, Jarak pagar tidak hanya menawarkan solusi terhadap keterbatasan bahan
699 baku impor, tetapi juga mendorong praktik akuakultur ramah lingkungan melalui prinsip
700 ekonomi sirkular dan pemanfaatan limbah menjadi biodiesel serta pupuk organik.

701 Pemanfaatan *jarak pagar* sebagai bahan baku untuk pakan akuakultur memerlukan
702 langkah strategis yang melibatkan sinergi antara pemerintah, lembaga riset, dan pelaku usaha.
703 Pemerintah berperan penting dalam menetapkan standar mutu dan regulasi nasional terkait
704 penggunaan bahan pakan nabati lokal yang aman, serta memberikan insentif fiskal dan
705 dukungan investasi bagi riset dan pengembangan bahan baku berkelanjutan. Lembaga riset
706 perlu memperkuat kolaborasi multidisipliner dalam bidang nutrisi, toksikologi, mikrobiologi,
707 dan bioteknologi untuk menghasilkan varietas jarak pagar dengan kadar toksin rendah,

708 mengembangkan teknologi fermentasi dan detoksifikasi, serta menyediakan basis data
709 komprehensif terkait komposisi gizi dan keamanan penggunaannya. Sementara itu, pelaku
710 usaha di sektor pakan dan agribisnis perlu berinvestasi dalam teknologi pengolahan modern,
711 membangun rantai pasok lokal yang efisien, serta menerapkan inovasi formulasi pakan
712 sinbiotik berbasis jarak pagar guna meningkatkan nilai tambah ekonomi dan kemandirian
713 bahan baku. Bungkil biji jarak pagar memiliki potensi tinggi sebagai sumber protein alternatif
714 dalam pakan akuakultur. Penggunaannya dapat menggantikan hingga 50% protein dari tepung
715 ikan tanpa menurunkan performa pertumbuhan maupun efisiensi pemanfaatan nutrisi. Dengan
716 demikian, bahan ini berkontribusi terhadap peningkatan efisiensi biaya produksi serta
717 kemandirian bahan baku dalam sistem akuakultur berkelanjutan. Meski memerlukan investasi
718 awal untuk pengolahan dan teknologi fermentasi, biaya tersebut dapat terkompensasi oleh
719 penghematan biaya jangka panjang, peningkatan bahan baku, serta nilai lingkungan positif
720 melalui pengurangan limbah dan jejak karbon. Melalui kolaborasi antara kebijakan, riset, dan
721 industri, jarak pagar berpotensi menjadi komoditas strategis nasional yang memperkuat
722 ketahanan pangan, mendukung ekonomi hijau, serta mempercepat transisi menuju sistem
723 akuakultur berkelanjutan dan ramah lingkungan.

724 **KONTRIBUSI PENULIS**

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

727

728

729

730

731

732

733 DAFTAR ACUAN

- 734 Abbas, A. H., SE, Atawodi, S. E., Onyike, E. O., & Agbaji, A. S. (2022). Evaluation of
735 Processed *Jatropha curcas* cake as food supplement on catfish (*Clarias gariepinus*).
736 *Journal of Fisheries Sciences.com.*, 16(6), 1–7. <https://doi.org/10.36648/1387-134>
- 737 Ahluwalia, S., Bidlan, R., Shrivastav, A. K., Goswami, R. K., Singh, P., & Sharma, J. G. (2020).
738 Optimization of protein extraction from detoxified *Jatropha* seed cake using response
739 surface methodology and amino acid analysis. *International Journal of Environmental*
740 *Science and Technology*, 17(2), 1087–1100. [https://doi.org/10.1007/s13762-019-02340-](https://doi.org/10.1007/s13762-019-02340-4)
741 4
- 742 Abou-Arab, A. A., Mahmoud, M. H., Ahmed, D. M. M., & Abu-Salem, F. M. (2019).
743 Comparative study between chemical, physical and enzymatic methods for *Jatropha*
744 *curcas* kernel meal phorbol ester detoxification. *Heliyon*, 5(5), 1-6.
745 <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01689>
- 746 Abubakar, M. (2020). Toasted *Jatropha curcas* seed meal in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*)
747 diet: Effect on growth, economic performance, haematology, serum biochemistry and
748 liver histology. *International Journal of Aquatic Biology*, 8(2), 98-108.
749 <https://doi.org/10.22034/ijab.v8i2.808>
- 750 Adeyemo, G., & Oluyede, F. (2015). Dietary inclusion of ethanolic extracts of *Jatropha curcas*
751 on the performance and carcass characteristics of Broiler Chickens. *American Journal of*
752 *Experimental Agriculture*, 8(2), 130–136. <https://doi.org/10.9734/ajea/2015/10580>
- 753 Ahmed, A. M., Ibrahim, M. M., El-said, M. A. A. E., & Elsadek, B. (2020). Anti-cancer activity
754 of curcin and latex isolated from jatropha plant (*Jatropha Curcas* L.). *Journal of*
755 *Agricultural Chemistry and Biotechnology*, 11(11), 339–344.
756 <https://doi.org/10.21608/jacb.2020.128902>
- 757 Ardiyanti, Y., & Marfu'ah, S. (2025). Pemanfaatan ekstrak daun jarak merah (*Jatropha*
758 *gossypifolia*) sebagai antioksidan dan toksisitasnya terhadap larva *Artemia salina*.
759 *Jurnal Sains Dan Kesehatan*, 7(2), 2407–6082. <https://doi.org/10.25026/jsk.v7i2.2273>
- 760 Arifin, N. B., Marthapratama, I., Sanoesi, E., & Prajitno, A. (2017). Aktivitas antibakteri
761 ekstrak daun jarak pagar (*Jatropha curcas* Linn) pada *Vibrio Harveyi* dan *Aeromonas*
762 *hydrophila*. *Jurnal Perikanan Universitas Gadjah Mada*, 19(1), 11-16.
- 763 Asuk, A. A., Agiang, M. A., Dasofunjo, K., & Willie, A. J. (2015). The biomedical significance
764 of the phytochemical, proximate and mineral compositions of the leaf, stem bark and root
765 of *Jatropha curcas*. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 5(8), 650–657.
766 <https://doi.org/10.1016/j.apjtb.2015.05.015>
- 767 Akter, S., Haque, M. A., Sarker, M. A.-A., Atique, U., Iqbal, S., Sarker, P. K., Paray, B. A.,
768 Arai, T., & Hossain, M. B. (2024). Efficacy of using plant ingredients as partial substitute
769 of fishmeal in formulated diet for a commercially cultured fish, *Labeo rohita*. *Frontiers*
770 *in Sustainable Food Systems*, 8, 1376112. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1376112>
- 771 Badan Litbang Pertanian. 2007. *Prospek dan Arah Pengembangan Agribisnis. Aspek*
772 *Kesesuaian Lahan*. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Jakarta, 30 hlm.
- 773 Barbosa, D. A. P., Kosten, S., Muniz, C. C., & Oliveira-Junior, E. S. (2024). From feed to fish-
774 nutrients' fate in aquaculture systems. In *Applied Sciences (Switzerland)*, 14(14), 1-22.
775 <https://doi.org/10.3390/app14146056>
- 776 Barros, C. R., Ferreira, L. M. M., Fraga, I., Mourão, J. L., & Rodrigues, M. A. M. (2024).
777 Detoxification methods of *Jatropha curcas* seed cake and its potential utilization as
778 animal feed. *Fermentation*, 10(5), 1-17. <https://doi.org/10.3390/fermentation10050256>.
- 779 Boyd, C. E., McNevin, A. A., & Davis, R. P. (2022). The contribution of fisheries and
780 aquaculture to the global protein supply. *Food Security*, 14(3), 805–827.
781 <https://doi.org/10.1007/s12571-021-01246-9>

- 782 Cao, X., Wei, X., Shao, Y., Li, D., & Zhu, J. (2025). *Jatropha curcas* seed oil for possible
783 human consumption: A toxicological assessment of its phorbol esters. *Toxicology*
784 *Reports*, 14(2025), 101870. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2024.101870>.
- 785 Chaikul, P., Lourith, N., & Kanlayavattanukul, M. (2024). Decelerated skin aging effect of
786 rubber (*Hevea brasiliensis*) seed oil in cell culture assays. *Scientific Reports*, 14(1), 1-13.
787 <https://doi.org/10.1038/s41598-024-81035-4>
- 788 Chen, F., Ding, Z., Su, Z., Guan, J., Xu, C., Wang, S., Li, Y., & Xie, D. (2024). Efficiently
789 substituting dietary fish meal with terrestrial compound protein enhances growth, health,
790 and protein synthesis in largemouth bass. *Animals*, 14(15), 2196.
791 <https://doi.org/10.3390/ani14152196>
- 792 Cheng, T., Huang, H., Mi, H., Zhang, L., Deng, J., Zhang, S., Dong, X., Chi, S., Yang, Q., Liu,
793 H., Xie, S., Zhang, W., & Tan, B. (2024). Effects of replacing fish meal with rubber seed
794 cake on growth, digestive, antioxidant and protein metabolism of juvenile asian red-tailed
795 catfish (*Hemibagrus wyckioides*). *Animals*, 14(21), 1-14.
796 <https://doi.org/10.3390/ani14213149>
- 797 Ciptaan, G., Mirnawati, M., Aini, Q., & Makmur, M. (2022). Nutrient content and quality of
798 soybean meal waste fermented by *Aspergillus ficuum* and *Neurospora crassa*. *Online*
799 *Journal of Animal and Feed Research*, 12(4), 240–245.
800 <https://doi.org/10.51227/ojafr.2022.32>
- 801 Cruz, A. C. P., Ordoñez-Rosas, M. L., Garcia-Ortega, A., Angulo-Escalante, M. A., Almazan-
802 Rueda, P., & Doninguez-Jimenez, V. P. (2018). Biochemical composition and evaluation
803 of *Jatropha curcas* meal as a replacement for fish meal in diets of juvenile nile tilapia
804 (*Oreochromis niloticus*). *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 21(2), 273-282.
805 <https://doi.org/10.56369/tsaes.2427>
- 806 Da Cunha, L., Besen, K. P., de Oliveira, N. S., Delziovo, F. R., Gomes, R., da Cruz, J. M.,
807 Picoli, F., Gisbert, E., Skoronski, E., & El Hadi Perez Fabregat, T. (2022). Fermented
808 soybean meal can partially replace fishmeal and improve the intestinal condition of
809 goldfish juveniles reared in a biofloc system. *Aquaculture Research*, 53(18), 6803-6815.
810 <https://doi.org/10.1111/are.16147>
- 811 Dai, X., Yang, X., Wang, C., Fan, Y., Xin, S., Hua, Y., Wang, K., & Huang, H. (2021).
812 CRISPR/Cas9-mediated genome editing in *Hevea brasiliensis*. *Industrial Crops and*
813 *Products*, 164, 113418. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113418>.
- 814 De-Castro, R. M. (2010). *Evaluation of phorbol ester toxicity of jatropha curcas using tilapia*
815 *(Oreochromis niloticus L .) bioassay college of engineering and agro-industrial*
816 *technology*. Los Banos. University of The Philippines Los Banos.
- 817 Direktorat Jenderal Perkebunan, Kementerian Pertanian Republik Indonesia. (2023). Statistik
818 Perkebunan Non Unggulan Nasional Tahun 2020-2022.
819 <https://ditjenbun.pertanian.go.id/template/uploads/2022/11/BUKU-STATISIK-NON->
820 [UNGGULAN-2020-2022](https://ditjenbun.pertanian.go.id/template/uploads/2022/11/BUKU-STATISIK-NON-UNGGULAN-2020-2022)
- 821 Efendy, E. N., Syawallita, R. O., Zainuri, M., & Junaedi, A. S. (2023). Aplikasi pemberian
822 probiotik yang berbeda ikan Lele Sangkuriang (*Clarias gariepinus*) Di Desa Banyuajuh
823 Kamal Bangkalan. *Journal of Indonesian Tropical Fisheries (JOINT-FISH): Jurnal*
824 *Akuakultur, Teknologi Dan Manajemen Perikanan Tangkap Dan Ilmu Kelautan*, 6(2),
825 224–235. <https://doi.org/10.33096/joint-fish.v6i2.387>
- 826 Elangovan, A. V., Gowda, N. K. S., Satyanarayana, M. L., Suganthi, R. U., Rao, S. B. N., &
827 Sridhar, M. (2013). *Jatropha (Jatropha curcas)* seed cake as a feed ingredient in the
828 rations of sheep. *Animal Nutrition and Feed Technology*, 13(1), 57–67.
- 829 Fajingbesi, O. A., M Z, W. C., B, A. J., A, A. A., Balogun, O., Daniel Oche, O., Yusuf, I., &
830 Ibrahim, B. (2019). Detoxification and anti-nutrient reduction of *J.curcas* seed cake by

- 831 fermentation using bacillus coagulans. *World Journal of Pharmaceutical and Medical*
832 *Research*, 5(1), 1-8. <https://kubanni.abu.edu.ng/handle/123456789/10800>.
- 833 Fantatto, R. R., Mota, J., Ligeiro, C., Vieira, I., Guilgur, L. G., Santos, M., & Murta, D. (2024).
834 Exploring sustainable alternatives in aquaculture feeding: the role of insects. *Aquaculture*
835 *Reports*, 37, 102228. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2024.102228>.
- 836 Fatril, D. D., Putri, D. A., & Putri, R. E. (2025). Uji toksisitas ekstrak etanol daun jarak pagar
837 (*Jatropha curcas* L.) dengan metode Brine Shrimp Lethality Test (BSLT). *BioWallacea:*
838 *Jurnal Penelitian Biologi (Journal of Biological Research)*, 12(1), 49-54.
- 839 Fauziantaka, D. B., Pratiwy, F. M., Handaka, A. A., & Zidni, I. (2025). the effect of probiotics
840 addition in feed on the survival and growth of nile fish (*Oreochromis niloticus*) in the
841 aquaponic system. *Jurnal Perikanan Unram*, 15(3), 1058-1068.
842 <https://doi.org/10.29303/jp.v15i3.1391>.
- 843 Fawole, F. J., Sahu, N. P., Shamna, N., Phulia, V., Emikpe, B. O., Adeoye, A. A., Aderolu, A.
844 Z., & Popoola, O. M. (2018). Effects of detoxified *Jatropha curcas* protein isolate on
845 growth performance, nutrient digestibility and physio-metabolic response of *Labeo*
846 *rohita* fingerlings. *Aquaculture Nutrition*, 24(4), 1223-1233.
847 <https://doi.org/10.1111/anu.12660>
- 848 Fawole, F. J., Sahu, N. P., Shamna, N., Adeoye, A. A., Phulia, V., & Emikpe, B. O. (2023).
849 Effects of dietary detoxified *Jatropha curcas* protein isolate on some physiological
850 parameters, intestine, and liver morphology of *Labeo rohita* fingerlings. *Turkish Journal*
851 *of Fisheries and Aquatic Sciences*, 23(1), 1-10. <https://doi.org/10.4194/TRJFAS21623>
- 852 Feng, X., Ng, K., Ajlouni, S., Zhang, P., & Fang, Z. (2024). Effect of solid-state fermentation
853 on plant-sourced proteins: A review. *Food Reviews International*, 40(9), 2580-2617.
854 <https://doi.org/10.1080/87559129.2023.2274490>
- 855 Flora, M. A. L. Della, da Silva Cardoso, A. J., & Hisano, H. (2023). Growth, metabolism and
856 digestibility of Nile tilapia fed diets with solvent and extrusion-treated *Jatropha curcas*
857 cake. *Veterinary Research Communications*, 47(3), 1273-1283.
858 <https://doi.org/10.1007/s11259-023-10076-3>
- 859 Gangwar, M., & Shankar, J. (2020). Molecular mechanisms of the floral biology of *Jatropha*
860 *curcas*: opportunities and challenges as an energy crop. *Frontiers in Plant Science*, 11,
861 609. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00609>
- 862 Ghosh, S., & Bitra, V. S. P. (2020). Phorbol ester degradation using chemical treatment in
863 *Jatropha* kernel meal. *IJCS*, 8(3), 159-163.
864 <https://doi.org/10.22271/chemi.2020.v8.i3b.9219>.
- 865 Ghosh, S., Bitra, V. S. P., S Dasi, D., & Godugula, V. (2021). Detoxification of jatropha kernel
866 meal to utilize it as aqua-feed. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 101(12),
867 5089-5096. <https://doi.org/10.1002/jsfa.11154>
- 868 Gomes, T. G., Hadi, S. I. I. A., de Aquino Ribeiro, J. A., Segatto, R., Mendes, T. D., Helm, C.
869 V., Júnior, A. F. C., Miller, R. N. G., Mendonça, S., & de Siqueira, F. G. (2022). Phorbol
870 ester biodegradation in *Jatropha curcas* cake and potential as a substrate for enzyme and
871 *Pleurotus pulmonarius* edible mushroom production. *Biocatalysis and Agricultural*
872 *Biotechnology*, 45, 102498. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2022.102498>.
- 873 Guangwei, W., Luo, W., Zhang, X., Sun, G., Tong, F., & Luo, W. (2025). Effect of different
874 fishmeal levels in diets on growth performance, tissue morphology, intestinal microflora,
875 and muscle volatile compounds of grass carp. *Frontiers in Marine Science*, 12, 1659376.
876 <https://doi.org/10.3389/fmars.2025.1659376>
- 877 Guedes, R. E., de Almeida Cruz, F., de Lima, M. C., Sant'Ana, L. D., Castro, R. N., & Mendes,
878 M. F. (2014). Detoxification of *Jatropha curcas* seed cake using chemical treatment:
879 analysis with a central composite rotatable design. *Industrial Crops and Products*, 52,
880 537-543. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.11.024>.

- 881 Gunun, N., Kaewpila, C., Khota, W., Kimprasit, T., Cherdthong, A., & Gunun, P. (2024). The
882 effect of supplementation with rubber seed kernel pellet on in vitro rumen fermentation
883 characteristics and fatty acid profiles in Swamp Buffalo. *BMC Veterinary Research*,
884 20(1), 1-8. <https://doi.org/10.1186/s12917-024-04017-8>
- 885 Handajani, H., Hakim, R. R., Sutaro, G. A., Mavuso, B. R., Chang, Z., & Andriawan, S. (2021).
886 Degradation of phorbol esters on the *Jatropha curcas* Linn. seed by biological
887 detoxification. *E3S Web of Conferences*, 226, 00020.
888 <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202122600020>.
- 889 Harinder, P. M., Francis, G., & Becker, K. (2008). Protein concentrate from *Jatropha curcas*
890 screw-pressed seed cake and toxic and antinutritional factors in protein concentrate.
891 *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88, 1542-1548.
892 <https://doi.org/10.1002/jsfa>.
- 893 Harter, T., Buhrke, F., Kumar, V., Focken, U., Makkar, H. P. S., & Becker, K. (2011).
894 Substitution of fish meal by *Jatropha curcas* kernel meal: Effects on growth performance
895 and body composition of white leg shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Aquaculture*
896 *Nutrition*, 17(5), 542-548. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2010.00845.x>.
- 897 Herdina, A. P., Handayani, E., Rohmawati, S., Isfanaya, N. K., & Sopandi, T. (2024).
898 Evaluation of the nutritional composition of fish meal production. *International Journal*
899 *of Agriculture & Environmental Science*, 11(4), 42-46.
900 <https://doi.org/10.14445/23942568/ijaes-v11i4p106>
- 901 Herman, M., & Anam, C. (2009). Pola tanam berbasis jarak pagar. *Jurnal Saintis*, 1(1), 43-54.
902 https://doi.org/https://dx.doi.org/10.7831/ras.8.0_109
- 903 Hermantara, R. (2024). CRISPR-Cas9: A story of discovery, innovation, and revolution in
904 genome editing. *Indonesian Journal of Life Sciences*, 83-104.
905 <https://doi.org/10.54250/ijls.v6i01.197>
- 906 Herrera, J., Siddhuraju, P., Francis, G., Dávila-Ortiz, G., & Becker, K. (2006). Chemical
907 composition, toxic/antimetabolic constituents, and effects of different treatments on their
908 levels, in four provenances of *Jatropha curcas* L. from Mexico. *Food Chemistry*, 96(1),
909 80-89. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.01.059>
- 910 Hilmarsdóttir, G. S., Ögmundarson, Ó., Arason, S., & Guðjónsdóttir, M. (2022). Identification
911 of environmental hotspots in fishmeal and fish oil production towards the optimization
912 of energy-related processes. *Journal of Cleaner Production*, 343, 130880.
913 <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130880>
- 914 Hossain, M. B., Sultana, J., Pingki, F. H., Nur, A.-A. U., Mia, M. S., Bakar, M. A., Yu, J.,
915 Paray, B. A., & Arai, T. (2023). Accumulation and contamination assessment of heavy
916 metals in sediments of commercial aquaculture farms from a coastal area along the
917 northern Bay of Bengal. *Frontiers in Environmental Science*, 11, 1148360.
918 <https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1148360>
- 919 Jimoh, W. A., Ayelaja, A. A., Abubakar, M. I. O., Yusuf, Y. O., Shittu, M. O., & Abdulsalami,
920 S. A. (2020). Toasted *Jatropha curcas* seed meal in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*)
921 diet: effect on growth, economic performance, haematology, serum biochemistry and
922 liver histology. *International Journal of Aquatic Biology*, 8(2), 98-108.
923 <https://doi.org/10.22034/ijab.v8i2.808>
- 924 Jimoh, W. A., Shittu, M. O., Ayelaja, A. A., Abdulsalami, S. A., & Okemakin, F. Y. (2020).
925 Apparent digestibility coefficients of nutrients in diets containing *Jatropha curcas*
926 seedmeal by *Oreochromis niloticus*. *Journal of Agricultural Sciences - Sri Lanka*, 15(3),
927 378-386. <https://doi.org/10.4038/jas.v15i3.9029>
- 928 Jimoh, J. O., Rahmah, S., Omitoyin, B. O., Ajani, E. K., Jalilah, M., Okomoda, V. T., Torsabo,
929 D., Fabusoro, A. A., Chang, Y. M., & Chen, Y.-M. (2024). Growth performances of

- 930 *Clarias gariepinus* juveniles fed with *Jatropha curcas* seed meal. *Aquaculture Reports*,
931 39, 102433. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2024.102433>
- 932 Jimoh, W. A., Ayelaja, A. A., Abubakar, M. I. O., Yusuf, Y. O., Shittu, M. O., & Abdulsalami,
933 S. A. (2020). Toasted *Jatropha curcas* seed meal in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*)
934 diet: Effect on growth, economic performance, haematology, serum biochemistry and
935 liver histology. *International Journal of Aquatic Biology*, 8(2), 98-108.
936 <https://doi.org/10.22034/ijab.v8i2.808>
- 937 Karolina, W.-A., & Justyna, N. (2025). Rapeseed meal as an alternative protein source in fish
938 feed and its impact on growth parameters, digestive tract, and gut microbiota. *Animals*,
939 15(9), 1264. <https://doi.org/10.3390/ani15091264>
- 940 Kamaruddin, A., Wan Harun, W. H. A., Mohd Bakri, M., Zainal Abidin, S. A., Giribabu, N.,
941 & Syed Abdul Rahman, S. N. (2024). Phytochemical profile and antimicrobial activity
942 of *Jatropha curcas* extracts against oral microorganisms. *Heliyon*, 10(17), 1-14.
943 <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e33422>.
- 944 Kaur, N., Qadir, M., Francis, D. V., Alok, A., Tiwari, S., & Ahmed, Z. F. R. (2025).
945 CRISPR/Cas9: a sustainable technology to enhance climate resilience in major Staple
946 Crops. *Frontiers in Genome Editing*, 7(3), 1-27.
947 <https://doi.org/10.3389/fgeed.2025.1533197>
- 948 Krome, C., Jauncey, K., & Focken, U. (2016). *Jatropha curcas* kernel meal as a replacement
949 for fishmeal in practical Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* feeds. *AACL Bioflux*, 9(3),
950 590-596. <https://dSPACE.stir.ac.uk/bitstream/1893/24177/1/2016.590-596>
- 951 Kumar, V., & Barman, D. (2012). Anti-nutritional Factors in Plant Feedstuffs Used in
952 Aquafeeds. *World Aquaculture*, 43(4), 64-67.
- 953 Kumar, V., Makkar, H. P. S., & Becker, K. (2010). Dietary inclusion of detoxified *Jatropha*
954 *curcas* kernel meal : effects on growth performance and metabolic efficiency in common
955 carp, *Cyprinus carpio* L. *Fish Physiol Biochem*, 36(4), 1159-1170.
956 <https://doi.org/10.1007/s10695-010-9394-7>
- 957 Levi, Y. F. C. P., Dwisari, M., Tanuwiria, H., Budiman, A., & Hernaman, I. (2022). Dampak
958 penggunaan bungkil biji jarak (*Jatropha curcas* L.) dalam ransum sapi potong terhadap
959 fermentabilitas dan pencernaan secara in vitro. *COMPOSITE: Jurnal Ilmu Pertanian*, 4(2),
960 41-46. <https://doi.org/10.37577/composite.v4i2.445>
- 961 Li, B., Boukhenou, A., Shao, J., Miao, L., Du, Y., & Chen, J. (2025). Application status and
962 development prospect of fermented ingredients in aquaculture. *Aquaculture Reports*, 42,
963 102842. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2025.102842>
- 964 Li, Y., Chen, L., Zhang, Y., Wu, J., Lin, Y., Fang, Z., Che, L., Xu, S., & Wu, D. (2018).
965 Substitution of soybean meal with detoxified *Jatropha curcas* kernel meal: Effects on
966 performance, nutrient utilization, and meat edibility of growing pigs. *Asian-Australasian*
967 *Journal of Animal Sciences*, 31(6), 888-898. <https://doi.org/10.5713/ajas.17.0499>.
- 968 Liang, H., Ma, Z., Sun, R., & Song, L. (2021). Research progress on antibacterial activity of
969 bioactive flavonoids. *China Surfactant Detergent and Cosmetics*, 51(8), 775-781.
970 <https://doi.org/10.3969/j.issn.1001-1803.2021.08.012>
- 971 Liu, G., & Mai, J. (2022). Habitat shifts of *Jatropha curcas* L. in the Asia-Pacific region under
972 climate change scenarios. *Energy*, 251, 123885.
973 <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.123885>
- 974 Liu, Q., Yang, F., Zhang, J., Liu, H., Rahman, S., Islam, S., Ma, W., & She, M. (2021).
975 Application of CRISPR/Cas9 in crop quality improvement. *International Journal of*
976 *Molecular Sciences*, 22(8), 1-16. <https://doi.org/10.3390/ijms22084206>
- 977 Liu, Y., Zhu, Z., Zhang, R., & Zhao, X. (2024). Life cycle assessment and life cycle cost
978 analysis of *Jatropha* biodiesel production in China. *Biomass Conversion and Biorefinery*,
979 14(22), 28635–28660. <https://doi.org/10.1007/s13399-022-03614-7>

- 980 Luthada-Raswiswi, R., Mukaratirwa, S., & O'Brien, G. (2021). Animal protein sources as a
981 substitute for fishmeal in aquaculture diets: a systematic review and meta-analysis.
982 *Applied Sciences*, *11*(9), 1-16. <https://doi.org/10.3390/app11093854>
- 983 Ma, Z., Hassan, M. M., Allais, L., He, T., Leterme, S., Ellis, A. V., McGraw, B., & Qin, J. G.
984 (2018). Replacement of fishmeal with commercial soybean meal and EnzoMeal in
985 juvenile barramundi *Lates calcarifer*. *Aquaculture Research*, *49*(10), 3258-3269.
986 <https://doi.org/10.1111/are.13790>
- 987 Macusi, E. D., Cayacay, M. A., Borazon, E. Q., Sales, A. C., Habib, A., Fadli, N., & Santos,
988 M. D. (2023). Protein fishmeal replacement in aquaculture: A systematic review and
989 implications on growth and adoption viability. *Sustainability*, *15*(16), 1-15.
990 <https://doi.org/10.3390/su151612500>
- 991 Mahyuddin, Husain, S., & Mustarin, A. (2020). Pengaruh perendaman telur ikan mas (*Cyprinus*
992 *carpio* L.) dalam larutan daun jarak pagar (*Jatropha curcas* L.) terhadap daya tetas telur.
993 *Jurnal Pendidikan Teknologi Pertanian*, *6*(1), 23-32.
994 <https://doi.org/10.26858/jptp.v6i1.11182>
- 995 Mao, Z., Chen, Y., Cao, S., Tang, J., Qu, F., Tao, M., & Liu, Z. (2024). Effects of the total fish
996 meal replacement by plant meal on growth performance, nutrient utilization and intestinal
997 microbiota of backcross F2 derived from blunt snout bream (*Megalobrama*
998 *amblycephala*, ♀) × topmouth culter (*Culter alburnus*, ♂). *Aquaculture Reports*, *34*,
999 101889. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2023.101889>
- 1000 Marzouk, O. A. (2020). *Jatropha curcas* as marginal land development crop in the sultanate of
1001 oman for producing biodiesel, biogas, biobriquettes, animal feed, and organic fertilizer.
1002 *Reviews in Agricultural Science*, *8*, 109-123. https://doi.org/10.7831/ras.8.0_109
- 1003 Maulu, S., Langi, S., Hasimuna, O. J., Missinhoun, D., Munganga, B. P., Hampuwo, B. M.,
1004 Gabriel, N. N., Elsabagh, M., Van Doan, H., & Kari, Z. A. (2022). Recent advances in
1005 the utilization of insects as an ingredient in aquafeeds: A review. *Animal Nutrition*, *11*,
1006 334-349. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2022.07.013>
- 1007 Maundu, A., Munguti, J., Sharma, R., Kasozi, N., Liti, D., Muthoka, M., Kirimi, J., & Mutiso,
1008 J. (2024). Apparent protein digestibility and growth performance of Nile Tilapia
1009 (*Oreochromis niloticus* L.) fed on sunflower and cotton seed meal as substitutes for
1010 freshwater shrimp meal (*Caridina nilotica*). *Aquaculture Research*, *2024*(1), 2713506.
1011 <https://doi.org/10.1155/2024/2713506>
- 1012 Masri, R. S., Syafni, N., Rustini, R., Supriyono, A., Kuo, P.-C., & Handayani, D. (2025).
1013 Isolation of endophytic fungi with antibacterial activity from medicinal plant *Jatropha*
1014 *multifida* L. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, *15*(7), 261-271.
1015 <https://doi.org/10.7324/JAPS.2025.230085>
- 1016 Mello, F. V., Silva, P., Barata, M., Soares, F., Pousão-Ferreira, P., Duarte, M. P., Valente, L.
1017 M. P., Marques, A., & Anacleto, P. (2025). Protein digestibility of aquafeeds in *Sparus*
1018 *aurata*: A model for in vitro bioaccessibility validation in fish. *Food Research*
1019 *International*, *213*(2025), 116554. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2025.116554>
- 1020 Michael, K. G., Sogbesan, O. A., Onyia, L. U., & Shallangwa, S. M. (2019). Nutritional
1021 evaluation of processed *Jatropha curcas* seed meals. *Direct Research Journal*, *7*(6), 131-
1022 136. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2018.04.001>
- 1023 Montoya-Mejía, M., García-Ulloa, M., Hernández-Llamas, A., Nolasco-Soria, H., &
1024 Rodríguez-González, H. (2017). Digestibility, growth, blood chemistry, and enzyme
1025 activity of juvenile *Oreochromis niloticus* fed isocaloric diets containing animal and plant
1026 byproducts. *Revista Brasileira de Zootecnia*, *46*(12), 873-882.
1027 <https://doi.org/10.1590/S1806-92902017001200001>

- 1028 Muhammad, O. A., Omolade, A. O., & Daniyan, S. Y. (2017). Growth performance and body
1029 compositions of *Clarias gariepinus* fed graded levels of detoxified *Jatropha curcas* meal.
1030 *Oceanography & Fisheries*, 3(5), 1-5. <https://doi.org/10.19080/OFOAJ.2017.03.555621>
- 1031 Musa, S. O., Okomoda, V. T., Tiamiyu, L. O., Solomon, S. G., Adeyemo, B. T., Alamanjo, C.
1032 C., & Abol-Munafi, A. B. (2021). Dietary implications of toasted *Jatropha curcas* kernel
1033 on the growth, haematology, and organ histology of *Clarias gariepinus* fingerlings.
1034 *Tropical Animal Health and Production*, 53(2), 232-243.
1035 <https://doi.org/10.1007/s11250-021-02678-3>
- 1036 Musa, S. O., Tiamiyu, L. O., Solomon, S. G., Ayuba, V. O., & Okomoda, V. T. (2018).
1037 Nutritional value of hydrothermally processed *Jatropha curcas* kernel and its effect on
1038 growth and hematological parameters of *Clarias gariepinus* fingerlings (Burchell, 1822).
1039 *Aquaculture Reports*, 10, 32-38. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2018.04.001>
- 1040 Nafees, M. S. M., Kamarudin, M. S., Karim, M., Hassan, M. Z., & de Cruz, C. R. (2023).
1041 Effects of dietary fiber on growth, feed efficiency and nutrient utilization of tinfoil barb
1042 (*Barbonymus schwanenfeldii*, Bleeker 1853) fry. *Aquaculture Reports*, 32, 101743.
1043 <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2023.101743>
- 1044 Najda, A. B., Almehemdi, A. F., & Zabar, A.F. (2013). Chemical composition and nutritional
1045 value of jatropha *Jatropha curcas* L. leaves. *Journal of Genetic and Environmental Resources*
1046 *Conservation*. 1(3), 221–226. <https://doi.org/10.63799>
- 1047 Najjar, A., Abdullah, N., Saad, W. Z., Ahmad, S., Oskoueian, E., Abas, F., & Gherbawy, Y.
1048 (2014). Detoxification of toxic phorbol esters from Malaysian *Jatropha curcas* Linn.
1049 kernel by *Trichoderma* spp. and endophytic fungi. *International Journal of Molecular*
1050 *Sciences*, 15(2), 2274-2288. <https://doi.org/10.3390/ijms15022274>
- 1051 Napier, J. A., & Betancor, M. B. (2023). Engineering plant-based feedstocks for sustainable
1052 aquaculture. *Current Opinion in Plant Biology*, 71, 102323.
1053 <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2022.102323>
- 1054 Nepal, S., Kumar, V., Makkar, H. P. S., Stadtlander, T., Romano, N., & Becker, K. (2018).
1055 Comparative nutritional value of *Jatropha curcas* protein isolate and soy protein isolate
1056 in common carp. *Fish Physiology and Biochemistry*, 44(1), 143-162.
1057 <https://doi.org/10.1007/s10695-017-0420-x>
- 1058 Neu, P. M., Schober, S., & Mittelbach, M. (2018). Quantification of phorbol esters in *Jatropha*
1059 *curcas* by HPLC-UV and HPLC-ToF-MS with standard addition method. *European*
1060 *Journal of Lipid Science and Technology*, 120(8), 1800146.
1061 <https://doi.org/10.1002/ejlt.201800146>
- 1062 Neupane, D., Bhattarai, D., Ahmed, Z., Das, B., Pandey, S., Solomon, J. K. Q., Qin, R., &
1063 Adhikari, P. (2021). Growing *Jatropha* (*Jatropha curcas* L.) as a potential second-
1064 generation biodiesel feedstock. *Inventions*, 6(4), 1-23.
1065 <https://doi.org/10.3390/inventions6040060>
- 1066 Nithiyanantham, S., Siddhuraju, P., & Francis, G. (2012). Potential of *Jatropha curcas* as a
1067 biofuel, animal feed and health products. *Journal of the American Oil Chemists' Society*,
1068 89(6), 961-972. <https://doi.org/10.1007/s11746-012-2012-3>
- 1069 Nna, P. J., Joseph, L., & Orié, K. J. (2020). Comparative study on the phytoconstituents and
1070 antimicrobial analysis of *Jatropha curcas* leaf and stem bark. *Direct Research Journal*
1071 *of Chemistry and Material Science*, 7(12), 37-43.
1072 <https://doi.org/10.26765/DRJCMS7219803564>
- 1073 Nunes, A. J. P., & Masagounder, K. (2022). Optimal levels of fish meal and methionine in diets
1074 for juvenile *Litopenaeus vannamei* to support maximum growth performance with
1075 economic efficiency. *Animals*, 13(1), 1-18. <https://doi.org/10.3390/ani13010020>

- 1076 Nurhidayanti. (2020). Acute toxicity test of *Jatropha curcas* L. On Nile tilapia seeds
1077 (*Oreochromis niloticus* L.). *Science and Technology Indonesia*, 5(1), 18-22.
1078 <https://doi.org/10.26554/sti.2020.5.1.18-22>
- 1079 Nurhidayanti, N. (2020). Acute Toxicity Test of *Jatropha curcas* L. on Nile Tilapia Seeds
1080 (*Oreochromis niloticus* L.). *Science and Technology Indonesia*, 5(1), 18-22.
- 1081 Okomoda, V. T., Musa, S. O., Tiamiyu, L. O., Solomon, S. G., Alamanjo, C. C., & Abol-
1082 Munafi, A. B. (2021). Dietary implications of detoxified *Jatropha curcas* kernel for
1083 *Clarias gariepinus* fingerlings. *Veterinary Sciences*, 8(8), 152-163.
1084 <https://doi.org/10.3390/vetsci8080152>
- 1085 Okomoda, V. T., Musa, S. O., Tiamiyu, L. O., Solomon, S. G., Oladimeji, A. S., Hassan, A.,
1086 Alabi, K. I., & Abol-Munafi, A. B. (2020). Fermentation of hydrothermal processed
1087 *Jatropha curcas* kernel: Effects on the performance of *Clarias gariepinus* (Burchell,
1088 1822) fingerlings. *Aquaculture Reports*, 18(5), 100428.
1089 <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100428>
- 1090 Omoikhoje, S. O., Eguaaje, A. S., Iyiorobhe, P., Akangbe, E., & Aidelomon, E. O. (2024).
1091 Growth performance of broiler chickens on cold aqueous *Jatropha tanjorensis* leaf
1092 extracts. *Nigerian Journal of Animal Production*, 49(1), 1298-1302.
1093 <https://doi.org/10.51791/njap.vi.7003>
- 1094 Oskoueian, E., Oskoueian, A., & Shakeri, M. (2021). Benefits and challenges of *Jatropha* meal
1095 as novel biofeed for animal production. *Veterinary sciences*, 8(9), 1-14.
1096 <https://doi.org/10.3390/vetsci8090179>
- 1097 Oviedo-Rondon, E. O., Toscan, A., Fagundes, N. S., Vidal, J. K., Barbi, J., & Thiery, P. (2024).
1098 Soybean meal nutrient composition, amino acid digestibility, and energy content
1099 according to the country of origin and year of harvest evaluated via NIRS. *Journal of*
1100 *Applied Poultry Research*, 33(3), 100448. <https://doi.org/10.1016/j.japr.2024.100448>
- 1101 Oyetayo, V. O., & Temenu, O. E. (2023). Comparative Study on the phytochemical,
1102 antistaphylococcal and antioxidant properties of the stem bark of *Jatropha curcas* L and
1103 *Jatropha gossypifolia* L. *Sultan Qaboos University Journal for Science*, 28(1), 17-24.
1104 <https://doi.org/10.53539/squjs.vol28iss1pp17-24>.
- 1105 Pamba, M. R., Poirier, V., Nguema Ndoutoumou, P., & Epule, T. E. (2024). Growing *Jatropha*
1106 *curcas* L. improves the chemical characteristics of degraded tropical soils. *Forests*,
1107 15(10), 1-12. <https://doi.org/10.3390/f15101709>
- 1108 Phasukarratchai, N., Tontayakom, V., & Tongcumpou, C. (2012). Reduction of phorbol esters
1109 in *Jatropha curcas* L. pressed meal by surfactant solutions extraction. *Biomass and*
1110 *Bioenergy*, 45, 48-56. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2012.05.020>
- 1111 Phengnuam, T., & Suntornsuk, W. (2013). Detoxification and anti-nutrients reduction of
1112 *Jatropha curcas* seed cake by *Bacillus* fermentation. *Journal of Bioscience and*
1113 *Bioengineering*, 115(2), 168-172. <https://doi.org/10.1016/j.jbiosc.2012.08.017>
- 1114 Phulia, V., Sardar, P., Sahu, N. P., Shamna, N., Fawole, F. J., Gupta, S., & Gadhav, P. D.
1115 (2017). Replacement of soybean meal with fermented *Jatropha curcas* Kernel meal in
1116 the diet of *Labeo rohita* Fingerlings: Effect on hemato-biochemical and histopathological
1117 parameters. *Journal of the World Aquaculture Society*, 48(4), 676-683.
1118 <https://doi.org/10.1111/jwas.12379>
- 1119 Qin, X., Sun, G., Meng, Y., Su, X., Zhang, L., Tian, H., Li, C., & Ma, R. (2025). Combined
1120 replacement of fish meal and fish oil by composite proteins source and canola oil: Effects
1121 on the growth performance, liver and intestine health of triploid rainbow trout.
1122 *Aquaculture Reports*, 43, 103005. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2025.103005>
- 1123 Rahu, M. I., Naqvi, S. H. A., Memon, N. H., Idrees, M., Kandhro, F., Pathan, N. L., Sarker, M.
1124 N. I., & Aqeel Bhutto, M. (2021). Determination of antimicrobial and phytochemical

- 1125 compounds of *Jatropha curcas* plant. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(5), 2867-
1126 2876. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.02.019>
- 1127 Rai, S., Kafle, A., Devkota, H. P., & Bhattarai, A. (2023). Characterization of saponins from
1128 the leaves and stem bark of *Jatropha curcas* L. for surface-active properties. *Heliyon*,
1129 9(5), e15807. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e15807>
- 1130 Rodríguez-González, H., López-Aguilar, M. R., Fonseca-Madrigal, J., Martínez-Palacios, C.
1131 A., & García-Ulloa, M. (2018). Use of a mixture of vegetal (*Jatropha curcas*) and animal
1132 (fish silage) byproducts as protein source in shrimp (*Litopenaeus vannamei*) diets.
1133 *Revista Brasileira de Zootecnia*, 47(11), 1-8. <https://doi.org/10.1590/rbz4720170165>
- 1134 Rossignoli, C. M., Manyise, T., Shikuku, K. M., Nasr-Allah, A. M., Dompok, E. B.,
1135 Henriksson, P. J. G., Lam, R. D., Lozano Lazo, D., Tran, N., Roem, A., Badr, A., Sbaay,
1136 A. S., Moruzzo, R., Tilley, A., Charo-Karisa, H., & Gasparatos, A. (2023). Tilapia
1137 aquaculture systems in Egypt: Characteristics, sustainability outcomes and entry points
1138 for sustainable aquatic food systems. *Aquaculture*, 577, 739952
1139 <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.739952>
- 1140 Ruatpuia, J. V. L., Halder, G., Vanlalchhandama, M., Lalsangpuii, F., Boddula, R., Al-Qahtani,
1141 N., Niju, S., Mathimani, T., & Rokhum, S. L. (2024). *Jatropha curcas* oil a potential
1142 feedstock for biodiesel production: A critical review. *Fuel*, 370, 131829.
1143 <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2024.131829>
- 1144 Rusda, Y., Prayitno, S. B., & Hastuti, S. (2023). Effect of soaking Java barb (*Baryoniums*
1145 *gonionotus*) eggs in *Jatropha* leaf solution (*Jatropha curcas* L.) on their hatching and
1146 survival rate. *Omni-Akuatika*, 2(19), 115-125.
1147 <https://doi.org/10.20884/1.oa.2023.19.2.1067>
- 1148 Saeed, M., Arain, M. A., Arif, M., Lagawany, M., Abd El-Hack, M. E., Kakar, M. U., Manzoor,
1149 R., Erdenee, S., & Chao, S. (2017). *Jatropha* (*Jatropha curcas*) meal is an alternative
1150 protein source in poultry nutrition. *World's Poultry Science Journal*, 73(4), 783-790.
1151 <https://doi.org/10.1017/S0043933917000824>
- 1152 Saetae, D., Kleekayai, T., Jayasena, V., & Suntornsuk, W. (2011). Functional properties of
1153 protein isolate obtained from physic nut (*Jatropha curcas* L.) seed cake. *Food Science*
1154 *and Biotechnology*, 20(1), 29-37. <https://doi.org/10.1007/s10068-011-0005-x>
- 1155 Serra, V., Pastorelli, G., Tedesco, D. E. A., Turin, L., & Guerrini, A. (2024). Alternative protein
1156 sources in aquafeed: Current scenario and future perspectives. *Veterinary and Animal*
1157 *Science*, 25, 100381. <https://doi.org/10.1016/j.vas.2024.100381>
- 1158 Setiawan, A., Wahyuni, T., Asianto, A. D., Malika, R., Wulansari, R. E., Retno, R. A.,
1159 Listyowati, T., Rakhman, F. A., Indria, P. D., Tambunan, M. L. M., Arifah, F. A., Putra,
1160 H. I. K., & Narentar, J. E. S. (2024). *Analisis Indikator Kinerja Utama (IKU) Sektor*
1161 *Kelautan dan Perikanan Kurun Waktu 2019-2023*. Pusat Data, Statistik dan Informasi.
1162 Jakarta.
- 1163 Shukla, A., Singh, S. P., & Tiwari, S. (2015). Transformation of toxic potential of *Jatropha*
1164 *curcas* (Ratanjyot) into protein source: A mini-review. *Journal of Advanced Veterinary*
1165 *and Animal Research*, 2(2), 89-94. <https://doi.org/10.5455/javar.2015.b82>
- 1166 Silitonga, A. S., Masjuki, H. H., Mahlia, T. M. I., Ong, H. C., Chong, W. T., & Boosroh, M.
1167 H. (2013). Overview properties of biodiesel–diesel blends from edible and non-edible
1168 feedstock. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 22, 346-360.
1169 <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.01.055>
- 1170 Smith, A. A., Dumas, A., Yossa, R., Overturf, K. E., & Bureau, D. P. (2017). Effects of soybean
1171 and sunflower meals on the growth, feed utilization, and gene expression in two Canadian
1172 strains of juvenile Arctic charr (*Salvelinus alpinus*). *Aquaculture*, 481, 191-201.
1173 <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.08.038>

- 1174 Solomon, S. G., Okomoda, V. T., & Torkor, E. F. (2016). Growth performance of *Clarias*
1175 *gariiepinus* fingerlings fed *Jatropha curcas* kernel meal. *International Journal of*
1176 *Aquaculture*, 6(1), 1-6. <https://doi.org/10.5376/ija.2016.06.0001>
- 1177 Srinivasan, N., Palanisamy, K., & Mulpuri, S. (2019). *Jatropha*: phytochemistry, pharmacology,
1178 and toxicology. In *Jatropha, Challenges for a New Energy Crop. Sustainable*
1179 *Multipurpose Crop*, 3(1), 415-435. https://doi.org/10.1007/978-981-13-3104-6_20
- 1180 Suprayogi, W. P. S., Ratriyanto, A., Akhirini, N., Hadi, R. F., Setyono, W., & Irawan, A. (2022).
1181 Changes in nutritional and antinutritional aspects of soybean meals by mechanical and
1182 solid-state fermentation treatments with *Bacillus subtilis* and *Aspergillus oryzae*.
1183 *Bioresource Technology Reports*, 17, 100925.
1184 <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2021.100925>
- 1185 Syed, D., Chamcheu, J.-C., Adhami, V., & Mukhtar, H. (2013). Pomegranate extracts and
1186 cancer prevention: Molecular and cellular activities. *Anti-Cancer Agents in Medicinal*
1187 *Chemistry*, 13(8), 1149-1161. <https://doi.org/10.2174/1871520611313080003>
- 1188 Tadesse, E., & Tadesse, W. (2017). *Jatropha curcas* : Nature , Uses and Factors Influencing
1189 its Management. *Journal of Earth and Environmental Sciences*, 2017(6). 1-14.
1190 <https://doi.org/10.29011/JEES-128>
- 1191 Takwin, B. A., Perdana, D. P., Muktiniati, M., & Azhar, F. (2023). Utilization of *Jatropha* leaf
1192 (*Jatropha curcas*) extract as immune system enhancer of vannamei shrimp (*Litopenaeus*
1193 *vannamei*) infected with *Vibrio parahaemolyticus*. *Journal of Aquaculture and Fish*
1194 *Health*, 12(1), 12-20. <https://doi.org/10.20473/jafh.v12i1.29898>
- 1195 Takwin, B. A., Setyowaty, D. N., & Azhar, F. (2022). The effect of *Jatropha* leaf extract
1196 (*Jatropha curcas*) for the immune system of vannamei (*Litopenaeus vannamei*) infected
1197 by *Vibrio harveyi*. *Jurnal Ilmu Kelautan Kepulauan*, 5(2), 598-609.
1198 <https://doi.org/10.33387/jikk.v5i2.5483>
- 1199 Takwin, B. A., & Pratama, M. H. A. (2025). Respon pertumbuhan udang vaname (*Litopenaeus*
1200 *vannamei*) terhadap pakan ekstrak daun jarak pagar (*Jatropha curcas*) dengan dosis
1201 berbeda. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Conservation*, 1(3), 1-8.
1202 <https://doi.org/10.29303/jmbc.v1i3.7399>
- 1203 Veerabhadrapa, M. B., Shivakumar, S. B., & Devappa, S. (2014). Solid-state fermentation of
1204 *Jatropha* seed cake for optimization of lipase, protease and detoxification of anti-nutrients
1205 in *Jatropha* seed cake using *Aspergillus versicolor* CJS-98. *Journal of Bioscience and*
1206 *Bioengineering*, 117(2), 208-214. <https://doi.org/10.1016/j.jbiosc.2013.07.003>
- 1207 Wafar, R. J., Yakubu, B. ;, Yusuf, B. ;, & Antyev, M. (2018). Effect of feeding raw and
1208 differently processed kapok (*Ceiba pentandra*) seed meal on the growth performance and
1209 carcass characteristics of weaner rabbits. *Nigerian J. Anim. Sci* 20(2), 258-270.
1210 <https://doi.org/10.4314/tjas.v20i2>
- 1211 Wang, L., Gao, C., Wang, B., Wang, C., Sagada, G., & Yan, Y. (2023). Methionine in fish
1212 health and nutrition: Potential mechanisms, affecting factors, and future perspectives.
1213 *Aquaculture*, 568, 739310. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.739310>
- 1214 Workagegn, K. B., Ababbo, E. D., & Tossa, B. T. (2013). The effect of dietary inclusion of
1215 *Jatropha curcas* kernel meal on growth performance, feed utilization efficiency and
1216 survival rate of juvenile Nile tilapia. *Journal of Aquaculture Research and Development*,
1217 4(5), 1-5. <https://doi.org/10.4172/2155-9546.1000193>
- 1218 Xing, S., Liang, X., Zhang, X., Oliva-Teles, A., Peres, H., Li, M., Wang, H., Mai, K., Kaushik,
1219 S. J., & Xue, M. (2024). Essential amino acid requirements of fish and crustaceans, a
1220 meta-analysis. *Reviews in Aquaculture*, 16(3), 1069-1086.
1221 <https://doi.org/10.1111/raq.12886>
- 1222 Yadav, N. K., Deepti, M., Patel, A. B., Kumar, P., Angom, J., Debbarma, S., Singh, S. K., Deb,
1223 S., Lal, J., & Vaishnav, A. (2025). Dissecting insects as sustainable protein bioresource

- 1224 in fish feed for aquaculture sustainability. *Discover Food*, 5(1), 1-28.
1225 <https://doi.org/10.1007/s44187-025-00318-5>
- 1226 Yan, Y., Li, X., Zhang, C., Lv, L., Gao, B., & Li, M. (2021). Research progress on antibacterial
1227 activities and mechanisms of natural alkaloids: A review. *Antibiotics*, 10(3), 1-30.
1228 <https://doi.org/10.3390/antibiotics10030318>
- 1229 Yaqoob, H., Teoh, Y. H., Sher, F., Ashraf, M. U., Amjad, S., Jamil, M. A., Jamil, M. M., &
1230 Mujtaba, M. A. (2021). *Jatropha curcas* biodiesel: A lucrative recipe for Pakistan's
1231 energy sector. *Processes*, 9(7), 1-36. <https://doi.org/10.3390/pr9071129>
- 1232 Zhao, Y., Wang, Y., Wang, H., Wu, Y., Makkar, H. P., & Liu, J. (2018). Nutritional value of
1233 detoxified *Jatropha curcas* seed cake protein isolates using rats as an animal model.
1234 *Animal Nutrition*, 4(4), 429-434. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2018.03.003>
- 1235 Zhang, Z., Chang, Y., Tang, H., Zhao, H., Chen, X., Tian, G., Liu, G., Cai, J., & Jia, G. (2021).
1236 Bio-detoxification of *Jatropha curcas* L. cake by a soil-borne *Mucor circinelloides* strain
1237 using a zebrafish survival model and solid-state fermentation. *Journal of Applied*
1238 *Microbiology*, 130(3), 852-864. <https://doi.org/10.1111/jam.14825>