

## Fish Oil Substitution in Fish Feed Using Vegetable Oils, Terrestrial Animal Fats and Indonesian Local Raw Material Candidates (A Review)

Thoy Batun Citra Rahmadani<sup>1\*</sup> & Wastu Ayu Diamahesa<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Budidaya Perairan, Fakultas Pertanian, Universitas Mataram, Nusa Tenggara Barat, Indonesia;

### Article History

Received : July 03<sup>th</sup>, 2023

Revised : August 28<sup>th</sup>, 2023

Accepted : September 15<sup>th</sup>, 2023

\*Corresponding Author: **Thoy Batun Citra Rahmadani**,  
Program Studi Budidaya Perairan, Fakultas Pertanian, Universitas Mataram, Nusa Tenggara Barat, Indonesia;  
Email: [citra@unram.ac.id](mailto:citra@unram.ac.id)

**Abstract:** Aquaculture is one of the world's most rapidly expanding producers of protein-rich diets. This is in accordance with the rising demand for feed to sustain these activities. However, the use of natural materials for fish feed, particularly fish oil, creates a paradox because it is derived from fish, therefore it is against the principles of sustainable agriculture. This article examines vegetable oils with a superior nutritional profile, palatability, digestibility, anti-nutritional factors, availability, and cost in comparison to fish oil. The ten-year-old articles selected and compiled originate from national (SHINTA) and international (Elsevier and Proquest) websites. Finding alternatives to fish oil as a source of lipids in fish diets is the result of several decades of research. Vegetable and animal sources are two main types of fish oil substitutes. Up to one hundred percent of fish oil can be substituted with vegetable oils like palm oil, canola oil, soybean oil, and olive oil. Similarly, animal sources can provide up to 75% of the lipids necessary for fish diets. Moreover, rubber seed oil has the potential to supplant fish oil in Indonesia due to its high omega-3 fatty acid content, which is comparable to that of fish oil. The conclusion of this review is that there are multiple sources of lipids that can be used to replace fish oil, and that more consideration must be given to the type of lipid source used in accordance with the type of fish being cultivated and the location of the fish cultivation.

**Keywords:** Aquaculture, fatty acid, fish oil, fish oil substitution, source of lipids, local ingredients.

### Pendahuluan

Sektor perikanan dan akuakultur telah mengalami peningkatan sejak beberapa tahun belakangan, sebab berkontribusi penting terhadap ketahanan pangan dan nutrisi global. Saat ini, penangkapan perikanan berkontribusi sebanyak 90 juta ton (51%) dan akuakultur sebanyak 88 juta ton (49%). Untuk produksi akuakultur terus mengalami peningkatan produksi sejak akhir tahun 1980-an, didasarkan oleh pemenuhan kebutuhan ikan sebagai sumber protein manusia (FAO, 2022).

Produksi perikanan dunia saat ini adalah 174 juta ton dan 90,4 juta ton dari hasil penangkapan dan 83,6 dari sector akuakultur pada tahun 2016 dan terus mengalami

penurunan masing-masing 80,1 dan 78,8 juta ton di tahun 2019 dan 2022 untuk sector penangkapan (FAO, 2016; 2022).

Permintaan pakan ikan semakin meningkat sebab terjadi juga peningkatan pada sector akuakultur (Suprayudi *et al.*, 2017; Kushayadi *et al.*, 2019; Samuki *et al.* 2020). Pakan ikan menyumbang 30-70% dari total biaya operasional sistem produksi perikanan budidaya. Produksi keseluruhan dari pakan akuakultur mencapai 40,1 juta metrik ton pada tahun 2018. Hal ini menunjukkan pertumbuhan sekitar 4% dibandingkan tahun lalu (USDA, 2020).

Minyak merupakan salah satu bahan baku pada pakan ikan dan termasuk sebagai sumber protein dan lipid. Minyak yang biasa digunakan

adalah minyak ikan karena mengandung asam lemak omega 3 yang tinggi. Dari 100 kg bahan baku ikan 3-6 kg dapat menjadi minyak ikan (EUMOFA, 2021). Dalam hal pakan budidaya, minyak ikan dianggap sebagai sumber lipid yang paling mahal dikarenakan rantai produksinya yang panjang serta bersaing dalam industri ternak darat (Hatlen *et al.*, 2022; Mc Clements, 2021).

Penambahan minyak ikan dalam pakan diketahui dapat meningkatkan efisiensi pakan, kualitas, pertumbuhan dan level hormone reproduksi yang lebih cepat (Abdel-aziz *et al.*, 2022; Sattang *et al.*, 2021). Hal ini dipengaruhi oleh kandungan HUFA dan PUFA (Spalvins, 2018). Minyak ikan dikenal mengandung omega 3 LC-PUFA yang terdiri atas EPA (20:5n-3) dan DHA (22:6n-3). Ikan seperti peruvian anchovy (*Engraulis ringens*) memiliki EPA sebanyak 7,6 sampai 22% dan DHA 9-12,7% (Turchini, *et al.*, 2011). Asam lemak ini memiliki peran penting dalam fungsi metabolisme, pertumbuhan somatik dan reproduksi (Francis *et al.*, 2019; Gergs *et al.*, 2014). Menurut Roy *et al.*, (2020) EPA dan DHA mempengaruhi kinerja otak ikan rainbow trout khususnya yang mengontrol asupan pakan.

Penggunaan minyak ikan sendiri saat ini telah menjadi kekhawatiran sebab memiliki implikasi negative seperti persaingan dengan manusia. Hal ini juga bisa berdampak pada penangkapan di alam secara berlebihan sehingga produksi di alam menjadi semakin menurun (FAO, 2011). Selain itu, terjadi juga peningkatan harga sejak tahun 2018 dengan harga 3.000 dolar per ton dan tiap tahun meningkat 700 dolar (FAO, 2022). Dampak ini tentu akan mempengaruhi kegiatan produksi akuakultur sebab akan menjadi semakin mahal dan tidak berkelanjutan. Oleh sebab itu perlu dilakukan pencarian alternatif lain yang dapat menggantikan minyak ikan dengan kriteria murah, dapat diterima dan dicerna oleh ikan, memiliki kandungan nutrient yang sesuai dan ketersediaannya selalu ada.

## Bahan dan Metode

Tahapan penulisan artikel ini yaitu dengan mengunduh artikel dari website nasional maupun internasional. Website nasional yang digunakan adalah SHINTA (kemendikbud) dengan kata kunci “Substitusi Minyak Ikan dengan Minyak Nabati di Indonesia”, sedangkan

website internasional yang digunakan adalah Elsevier dan Proquest dengan kata kunci “Fish Oil Substitution with Vegetable Oil Substitution in Indonesia”. Dari seluruh artikel yang terkumpul kemudian dipilih artikel yang paling relevan 10 tahun terakhir untuk dijadikan referensi utama.

## Hasil dan Pembahasan

### Pengganti minyak ikan dari unsur nabati

Minyak nabati masih dianggap sebagai alternatif pengganti minyak ikan didalam pakan ikan. Hal ini disebabkan oleh ketersediaannya yang mudah didapat, produksi yang tinggi dan harga yang lebih murah (Fountoulaki *et al.*, 2009). Beberapa minyak nabati yang dapat digunakan diantaranya minyak kedelai, minyak sawit, minyak bunga matahari dan minyak kanola. Minyak kedelai menjadi salah satu produk pertanian yang paling banyak digunakan baik untuk manusia maupun hewan (Valderrama & Marco, 2017). Minyak kedelai mengandung sekitar 15% asam lemak jenuh, 23% MUFA dan 62% PUFA (Kamisah & Jaarin, 2017).

Penelitian dengan mengganti minyak ikan ke minyak kedelai telah dilakukan oleh Jiang *et al.*, (2013) yang menunjukkan bahwa minyak nabati memberikan hasil pertumbuhan yang sama dengan pakan yang mengandung minyak ikan, selain itu pada pakan dengan pergantian 25% minyak kedelai mengalami peningkatan fungsi kekebalan tubuh ketika dilihat dari serum lysosim. Hal ini mengindikasikan bahwa rasio n-3 dan n-6 yang seimbang mampu mempengaruhi fungsi sel imun, pensinalan sel dan proses imunologi.

Minyak sawit merupakan ekstrak dari buah kelapa sawit yang memiliki karotenoid tinggi dan kaya akan vitamin E seperti tokoferol. Peningkatan minyak sawit juga terus mengalami kenaikan dalam 25 tahun terakhir, dari 6.832 juta metrik ton di tahun 1985 menjadi 36.733 juta metrik ton di tahun 2006. Ini menjadikan sebagai salah satu minyak yang paling banyak diproduksi di dunia (Aliyu-Paiko, *et al.*, 2012). Selanjutnya, menurut Ayisi & Zhao (2014) di tahun 2020 proyeksi minyak sawit meningkat lebih dari 30% karena pasokan yang terus-menerus dari beberapa negara, khususnya Malaysia dan Indonesia yang

berkontribusi sebanyak 36% dari total produksi global.

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa penggantian minyak ikan menggunakan minyak kelapa sawit terbukti efektif. Hasil penelitian Syahrinal *et al.*, (2022) ikan nila yang diberi penambahan sebanyak 6% dalam pakan menghasilkan *Specific Growth Rate* (SGR) yang tinggi. Hal yang sama juga didapatkan pada ikan salmon atlantik dan rainbow trout yang mampu menghasilkan efisiensi pemanfaatan pakan sama dengan yang diberi minyak ikan (Hossain *et al.*, 2021). Walaupun beberapa menunjukkan hasil yang positif, namun pergantian minyak ikan 100% ke minyak sawit menunjukkan penurunan pertumbuhan juvenil ikan lele (Anvo, *et al.*, 2017) dan rendahnya pemanfaatan nutrient serta kesehatan ikan nila, disebabkan berkurangnya EPA dan ARA serta minyak sawit mampu meningkatkan kandungan AST dan ALP yang menunjukkan kerusakan hati (Ayisi *et al.*, 2018).

Minyak canola termasuk salah satu sumber nabati yang juga bisa dimanfaatkan sebagai pengganti minyak ikan. Minyak canola memiliki harga yang lebih murah dan banyak dibanding minyak ikan (USDA, 2006). Minyak ini mengandung banyak vitamin E dan K yang sangat bermanfaat bagi kesehatan. Selain itu, tahan terhadap cahaya dan perubahan peroksida hampir nol dibandingkan minyak-minyak lainnya. Minyak canola juga memiliki nutrient yang tinggi dibandingkan minyak bunga matahari, jagung dan kedelai sebab adanya asam lemak tidak jenuh khususnya omega 3 sebesar 11% dan jumlah kolestrol yang sangat rendah (Higgs *et al.*, 2006).

Hasil penelitian Sajedkhanian *et al.*, (2021) menemukan bahwa penggunaan minyak canola memberikan dampak yang positif bagi pertumbuhan juvenil ikan *Salmo caspius*. Hal ini dapat dilihat dari FCR dan pertumbuhan, dimana tidak terdapat perbedaan dengan ikan yang diberi minyak ikan. Selain itu, minyak canola juga memberikan hasil enzim ALT dan AST yang lebih rendah dibandingkan minyak ikan. ALT dan AST adalah enzim yang menjadi salah satu indicator ketika terjadi kerusakan sel yang disebabkan oleh stress.

**Tabel 1.** Efektivitas substitusi sumber lipid nabati pengganti minyak ikan

Sumber Minyak	Efektifitas Substitusi	Referensi
Minyak Kedelai	3%-50%	Chen <i>et al.</i> , 2020; Marzuqi <i>et al.</i> , 2006
Minyak Sawit	75%	Weerasingha <i>et al.</i> , 2022
Minyak Canola	50%-100 %	Masiha <i>et al.</i> , 2013; Sajedkhanian <i>et al.</i> , 2021

### Pengganti minyak ikan dari mikroalga

Minyak yang berasal dari mikroalga dapat juga menjadi alternatif untuk menggantikan minyak ikan. Mikroalga banyak terdapat dilautan dan mengandung PUFA (Poly Unsaturated Fatty Acid) yang sangat tinggi. Salah satu mikroalga yang dapat digunakan adalah *Schizochytrium sp.*. *Schizochytrium sp.* mengandung DHA cukup tinggi yaitu 18% per 100 gr (Hadley *et al.*, 2017). Hasil penelitian Wei *et al.*, (2021) menunjukkan penggunaan minyak dari mikroalga *Schizochytrium sp.*, dapat sepenuhnya menggantikan minyak ikan pada ikan salmon atlantik dengan tingkat pertumbuhan yang lebih tinggi dibandingkan dengan salmon yang diberikan minyak ikan.

*Isochrysis sp.* dapat juga digunakan sebagai pengganti minyak ikan. Mikroalga ini cukup banyak digunakan dalam kegiatan akuakultur seperti pakan untuk kekerangan dan juga larva (Bonfanti *et al.*, 2018; He *et al.*, 2018). Kandungan lipid pada *Isochrysis sp.* juga cukup tinggi mencapai 20-30% berat kering dan sangat kaya akan sumber lemak omega 3 seperti eicosapentaenoic acid (EPA) dan docosahexaenoic acid (DHA) (Bonfanti *et al.*, 2018).

**Tabel 2.** Efektivitas substitusi minyak ikan

Mikroalga	Efektifitas Substitusi Minyak Ikan	Sumber Rujukan
<i>Schizochytrium sp.</i>	100%	Sarker <i>et al.</i> , 2016
<i>Isochrysis sp.</i>	36%	Tibaldi <i>et al.</i> , 2015
<i>Nannochloropsis sp.</i>	100 %	Qiao <i>et al.</i> , 2014

### Pengganti minyak ikan dari unsur hewani

Minyak atau lemak yang berasal dari hewan khususnya hewan teresterial dapat menjadi alternatif sebab harganya lebih rendah dan ketersediannya lebih banyak (Turchini *et al.*, 2009). Minyak yang berasal dari unggas dapat diperoleh dari jeroannya sebab mampu memberikan energi pada pakan. Produk ini disebut juga dengan produk sampingan sehingga sangat baik untuk dimanfaatkan.

Minyak unggas memiliki *Monounsaturated Fatty Acid* (MUFA) yang tinggi tetapi cukup rendah di *Polyunsaturated Fatty Acid* (PUFA), dengan total MUFA sebesar 41,4% dan PUFA hanya 20,0%. Hal ini berpengaruh juga terhadap komposisi EPA + DHA sebesar 0,3% pada minyak unggas (Bowyer *et al.*, 2012). Tetapi, penelitian-penelitian menggunakan minyak dari unggas telah dilakukan pada beberapa ikan, seperti atlantic salmon (*Salmo salar*) (Hatlen *et al.*, 2014), european seabass (*Dicentrarchus labrax*) (Campos *et al.*, 2019) dan rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) (Turchini *et al.*, 2013). Hasil penelitian Bowyer *et al.*, (2012) pada ikan yellowtail king fish (*Seriola lalandi*) menunjukkan bahwa pemberian minyak unggas 100% memberikan performa pertumbuhan yang sama dengan ikan yang diberikan pakan dengan penambahan minyak ikan dan tidak ada tanda-tanda terkena penyakit.

Penggunaan minyak unggas juga mampu menurunkan nilai malondialdehyde (MDA) pada ikan tiger puffer (*Takifugu rubripes*). MDA yang rendah disebabkan oleh LC-PUFA yang rendah di minyak unggas sehingga lebih sedikit menghadapi peroksidasi (Li *et al.*, 2022). Hal yang berbeda ditemukan oleh Carvalho *et al.*, (2020) yang menemukan bahwa pemberian minyak unggas pada benih ikan sea bram (*Sparus aurata*) memberikan hasil yang kurang baik. Nilai Thrombogenic Index (TI) pada benih yang diberi minyak unggas memiliki hasil yang cukup tinggi. Indikasi dari nilai TI yang tinggi menandakan bahwa MUFA lebih tinggi dibanding PUFA sehingga dapat meningkatkan deposisi lipid didalam pembuluh darah (Campos *et al.*, 2019) serta menyebabkan terbentuknya gumpalan darah (Chen & Liu, 2020).

Selain dari unggas, pengganti minyak ikan juga dapat berasal dari lemak babi. Lemak babi mengandung *Saturated Fatty Acid* (SFA) sebesar 47,99%, MUFA 36,73% dan PUFA 15,22%

(Zhou *et al.*, 2015). Pergantian minyak ikan dengan lemak babi telah dilakukan pada juvenil ikan mandarin (*Siniperca scherzeri*) (Sankian *et al.*, 2019) dan ikan sea bream (*Dplodus puntazzo*), yang mampu menggantikan minyak ikan sampai 75% (Nogales-Mérida *et al.*, 2011). Namun, hasil penelitian Tian *et al.*, (2015) menunjukkan perbedaan, dimana pada ikan grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) ketika diberi penambahan lemak babi pada pakan menghasilkan pertumbuhan yang lebih rendah dan kandungan lemak yang tinggi dibandingkan ikan yang diberi minyak ikan.

**Tabel 3.** Efektivitas substitusi sumber lipid hewan teresterial

Sumber Minyak	Efektifitas Substitusi	Sumber Rujukan
Minyak Unggas	100%	Li <i>et al.</i> , 2022
Lemak Babi	75%	Nogales-Mérida <i>et al.</i> , 2011; Friesen <i>et al.</i> , 2013

### Pengganti minyak ikan menggunakan minyak biji karet dari sumber lokal

Minyak biji karet salah satu bahan lokal yang berpotensi tinggi untuk dimanfaatkan, sebab sekitar 80% buah dari karet tidak digunakan dan biji karet mengandung sekitar 40-50% minyak (Siahaan *et al.*, 2009; Rivai *et al.*, 2015). Kandungan asam lemak pada minyak biji karet diketahui memiliki nilai yang tinggi, yaitu 37,28% untuk asam lemak LA dan 19,22% asam lemak LNA. Nilai ini lebih besar dibandingkan minyak nabati lainnya seperti pada minyak jagung yang memiliki LNA 0,28%-0,39% dan pada minyak sawit sebesar 0,21-0,23% (Bami, *et al.*, 2017; Dowd *et al.*, 2010; Hwang, 2009).

**Tabel 4.** Kandungan asam lemak esensial la dan lna minyak biji karet, minyak sawit dan minyak jagung

Sumber Minyak	%LA n6	%LNA n3	Referensi
Minyak Biji Karet	32,28 %	19,22%	Salimon <i>et al.</i> 2012
Minyak Sawit	60,01 %	0,21%–0,23%	Bami <i>et al.</i> , 2017
Minyak Jagung	59,29 %	0,28%–0,39%	Dowd <i>et al.</i> , 2010; Hwang <i>et al.</i> , 2009

Penggunaan minyak biji karet untuk menggantikan minyak jagung sudah dilakukan, tetapi hasilnya menunjukkan pertumbuhan ikan nila yang tidak baik ketika menggunakan minyak biji karet yang mentah tanpa ada pengolahan sebelumnya. Salah satu penyebabnya adalah minyak biji karet yang tidak diolah mengandung HCN sebesar 45,5 ppm yang sangat beracun bagi ikan. Hasilnya adalah terjadi penurunan laju pertumbuhan spesifik, retensi protein dan retensi lemak (Komariyah *et al.*, 2014).

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa kandungan HCN yang terdapat didalam pakan akan mengurangi tingkat konsumsi pakan, menyebabkan stress oksidatif, meningkatkan rasio konversi pakan serta menurunnya retensi nutrisi (Dube & Hosetti, 2010; Komariyah *et al.*, 2014). Walaupun berbahaya, HCN yang terdapat pada minyak biji karet dapat dihilangkan dengan cara pemanasan, sebab senyawa kimianya sangat labil terhadap panas (Salimon *et al.*, 2012). Pemanasan minyak biji karet selama 60 menit terbukti mampu menurunkan kandungan HCN menjadi 2,02 ppm (Kushayadi, *et al.*, 2019).

Penggunaan minyak biji karet yang telah dipanaskan terbukti mampu meningkatkan palatabilitas pada ikan. Menurut Fatmawaty *et al.*, (2021) ikan patin (*Pangasianodon hypophthalmus*) yang diberi penambahan minyak biji karet 2% dapat memberikan pertumbuhan yang baik. Namun, sebelum pemberian, biji karet dipanaskan terlebih dahulu di oven selama 30 menit pada suhu 100°C. Hasil penelitian Kushayadi *et al.*, (2019) juga mendapatkan bahwa ikan nila yang diberi minyak biji karet yang dipanaskan tidak mempengaruhi palatabilitas ikan dan mampu meningkatkan pertumbuhan. Selain itu, dapat juga menurunkan nilai MDA dibanding minyak yang tidak dipanaskan. Berdasarkan hasil tersebut maka biji karet menjadi salah satu alternatif untuk menggantikan minyak ikan, sebab tanaman ini dapat dijumpai dengan mudah dan penanamannya terjadi sepanjang tahun, sehingga ketersediannya selalu ada.

## Kesimpulan

Pergantian minyak ikan sebagai sumber lipid dapat dilakukan dengan menggunakan berbagai bahan seperti minyak yang berasal dari nabati, khususnya yang berbahan baku lokal seperti minyak biji karet dan juga hewan

teresterial. Meskipun demikian, terdapat perbedaan pada beberapa jenis ikan yang dibudidayakan ketika diberikan pergantian minyak. Oleh sebab itu perlu dilakukan pemilihan yang seksama terkait sumber lipid yang akan digunakan.

## Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kami ucapkan kepada Universitas Mataram yang telah memberikan batuan berupa kemudahan akses mengunduh artikel-artikel dari website *Proquest*.

## Referensi

- Abdel-Aziz, F. A., Zied, R. M. A., Hassan, H. U., Sayed, A. E-D. H., Ahmad, H., Mushtaq, S., Yaqoob, H., Habib, A., Arai, T. (2022). Effects of Replacement of Dietary Fish Oil with Plant Oil on Growth Performance and Fatty Acid Composition of Spinefoot Rabbitfish, *Siganus rivulatus*. *Brazilian Journal of Biology*. 84, 1-11. DOI: 10.1590/1519-6984.262969
- Aliyu-Paiko, M., Hashim, R., Chong, A. (2012). Crude Palm Oil is a Sustainable Alternative to the Growing Fish Oil Scarcity Particular for the Aquaculture of Warm Freshwater Fish Species. *Research and Farming Techniques*. 17(1), 30-35.
- Anvo, M.P.M., Sissao, R., Aboua, B.R.D., Zoungrana-Kabor'e, C.Y., Otchoumou, A.K., Kouamelan, E.P., Toguy'eni, A., (2017). Preliminary Use of Cashew Kernel Oil in *Clarias gariepinus* Fingerlings Diet: Comparison with Fish Oil and Palm Oil. *Int. Aquat. Res.* 9 (2), 129-139. <https://doi.org/10.1007/s40071-017-0162-5>.
- Ayisi, C. L. & Zhao, J-L. (2014). Recent Developments in the Use of Palm Oil in Aquaculture Feeds: A Review. *International Journal of Scientific & Technology Research*. 3(6), 259-264.
- Ayisi, C. L., Zhao, J., Wu, J-W. (2018). Replacement of Fish Oil with Palm Oil: Effects on Growth Performance, Innate Immune Response, Antioxidant Capacity and Disease Resistance in Nile Tilapia

- (*Oreochromis niloticus*). *Plos ONE*. 13(4), 1-17. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0196100>
- Bami, M. L., Kamarudin, M. S., Saad, C. R., Arshad, A., & Ebrahim, M. (2017). Effect of palm oil products on growth performance, body composition and fatty acid profile of juvenile Malaysian mahseer (*Tor tambroides*). *Journal of Oil Palm Research*, 29(3), 287–400.
- Bonfanti, C., Cardoso, C., Afonso, C., Matos, J., Garcia, T., Tanni, S., Bandarra, N.M., (2018). Potential of microalga *Isochrysis galbana*: Bioactivity and bioaccessibility. *Algal Res.* 29, 242-248. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2017.11.035>
- Bowyer, J. N. Qin, J., G., Smullen, R., P., Stone, D., A., J. (2012) Replacement Of Fish Oil By Poultry Oil And Canola Oil In Yellowtail Kingfish (*Seriolala landi*) At Optimal And Suboptimal Temperatures. *Aquaculture*. 351, 211-222. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.05.014>
- Campos, I., Matos, E., Maia, M. R. G., Marques, A., Valente, L. M. P. (2018). Partial and Total Replacement of Fish Oil by Poultry Fat in Diets for European Seabass (*Dicentrarchus labrax*) Juveniles: Effects on Nutrient Utilization, Growth Performance, Tissue Composition and Lipid Metabolism. *Aquaculture*. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.12.004>
- Carvalho, M., Montero, D., Rosenlund, G., Fontanillas, R., Gines, R., Izquierdo, M. (2020). Effective Complete Replacement of Fish Oil by Combining Poultry and Microalgae Oils in Practical Diets for Gilthead Sea Bream (*Sparus aurata*) Fingerlings. *Aquaculture*. 529, 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735696>
- Chen, J & Liu, H. (2020). Nutritional Indices for Assessing Fatty Acids: A Mini-Review. *International Journal of Molecular Sciences*. 21(16), 1-24. DOI: 10.3390/ijms21165695
- Chen, Y., Shun, Z., Liang, Z., Xie, Y., Su, J., Luo, Q., Zhu, J., Liu, Q., Han, T., Wang, H. (2020). Effects Of Dietary Fish Oil Replacement By Soybean Oil And L-Carnitine Supplementation On Growth Performance, Fatty Acid Composition, Lipid Metabolism And Liver Health Of Juvenile Largemouth Bass, *Micropterus salmoides*. *Aquaculture*. 516. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734596>
- Dowd, M. K., Deborah, L. B., William, R. M., Campbell, B. T., Bourland, F. M., Gannaway, J. R., Zhang, J. (2010). Fatty acid profiles of cotton- seed genotypes from the national cotton variety trials. *The Journal of Cotton Science*. 14, 64–73
- Dube, P. N., & Hosetti, B. B. (2010). Behavior surveillance and oxygen consumption in the freshwater fish Labeo rohita (*Hamilton*) exposed to sodium Cyanide. *Biotechnology in Animal Husbandry*. 26, 91–103
- EUMOFA. (2021). Fishmeal and Fish Oil. *Publication Office of the European Union*. [WWW.EUMOFA.EU](http://WWW.EUMOFA.EU)
- FAO. (2022). The State Of Fisheries And Aquaculture. *FAO Annual Report*. <https://www.fao.org/3/cc0461en/cc0461en.pdf>
- FAO.(2016). The State Of Fisheries And Aquaculture. *FAO Annual Report*. <https://www.fao.org/publications/sofia/2016/en/>
- FAO.(2018). The State Of Fisheries And Aquaculture. *FAO Annual Report*. <https://www.fao.org/publications/sofia/2018/en/>
- Fatmawati, A. A., Putra, A. N., Munandar, A., Hermita, N., Mustahal., Hermawan, D., Agung, L. A., Rahman, A., Syamsunarno, M. B. (2021). The Use of Rubber Seed Oil as an Alternative Plant Lipid Source for Stripped Catfish (*Pangasianodon hypophthalmus*) Diet. *Journal of Aquaculture and Fish Health*. 10(2), 165-175. DOI : 10.20473/jafh.v10i2.19845
- Fountoulaki, E., Vasilaki, A., Hurtado, R., Grigorakis, K., Karacostas, I., Nengas Ringos, I., Kotzamanis, Y., Venon, B., Alexis M., N., (2009). Fish Oil Substitution By Vegetable Oils In Commercial Diets For Gilthead Sea Bream (*Sparus aurata* L.); Effect On

- Growth Performance, Flesh Quality And Filet Fatty Acid Profile. Recovery Of Fatty Acid Profiles By A Fish Oil Finishing Diet Under Fluctuating Water Temperature. *Aquaculture*. 289(3), 317-326.  
<https://doi.org/10.1016/J.Aquaculture.2009.01.023>
- Francis, D. S., Cleveland, B. J., Jones, P. L., Turchini, G.M., Conlan, J. A. (2019). Effects of PUFA-enriched Artemia on the early growth and fatty acid composition of Murray cod larvae. *Aquaculture*. 513, 734362.
- Friesen, E., Balfry, S., K., Skura, B., J., Ikonou, M., Higgs, D., A. (2013). Evaluation Of Poultry Fat And Blends Of Poultry Fat With Cold Pressed Flaxseed Oil As Supplemental Dietary Lipid Sources For Juvenile Sablefish (*Anoplopoma fimbria*). *Aquaculture Research*. 44(2), 300- 316.
- Gergs, R., Steinberger, N., Basen, T., Creuzburg, D.M., 2014. Dietary supply with essential lipids affects growth and survival of the amphipod *Gammarus roeselii*. *Limnologica*. 46, 109-115.
- Hadley, K. B., Bauer, J., Milgram, N. W. (2017). The Oil Rich Alga *Schizochytrium* sp. as a Dietary Source of Docosahexaenoic Acid Improves Shape Discrimination Learning Associated With Visual Processing in A Canine Model of Senescence. *Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids*. 118, 10-18.  
<https://doi.org/10.1016/j.plefa.2017.01.011>
- Hatlen, B., Jakobsen, J-V., Crampton, V., Alm, M., Langmyhr, E., Espe, M., Hevroy, E. M., Torstensen, B. E., Liland, N., Waagbo, R. (2014). Growth, feed Utilization and Endocrine Responses in Atlantic Salmon (*Salmo salar*) Fed Diets Added Poultry by-Product Meal and Blood meal in Combination with Poultry Oil. *Aquaculture Nutrition*. 21(5), 714-725. <https://doi.org/10.1111/anu.12194>
- Hatlen, B., Larson T., Kari, T., Romarheim, Rubio, M., Ruyter, B. (2022). Improved Filet Quality In Harvest-Size Atlantic Salmon Fed High N-3 Canola Oil As A DHA-Source. *Aquaculture*. 560.  
<https://doi.org/10.1016/J.Aquaculture.2022.738555>
- He, Y., Lin, G., Rao, X., Chen, L., Jian, H., Wang, M., Guo, Z., Chen, B., (2018). Microalga *Isochrysis galbana* in feed for *Trachinotus ovatus*: effect on growth performance and fatty acid composition of fish fillet and liver. *Aquacult. Int.* 26(5), 1261–1280.
- Higgs, D. A., Balfry, S. K., Oakes, J. D., Rowshandeli, M., Skura, B. J., & Deacon, G. (2006). Efficacy of an equal blend of canola oil and poultry fat as an alternate dietary lipid source for Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in sea water. I: Effects on growth performance, and whole body and fillet proximate and lipid composition. *Aquaculture Research*, 37(2), 180–191. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2005.01420.x>
- Hossain, S., Peng, M., Small, B., C. (2021). Optimizing The Fatty Acid Profile Of Novel Terrestrial Oil Blends In Low Fishmeal Diets Of Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) Yields Comparable Fish Growth, Total Filet N-3 LC-PUFA Content, And Health Performance Relative To Fish Oil. *Aquaculture*. 545.  
<https://doi.org/10.1016/J.Aquaculture.2021.737230>  
<https://doi.org/10.1111/anu.12127>
- Hwang, J. (2009). Diets with corn oil and/or low protein increase acute acetaminophen hepatotoxicity compared to diets with beef tallow in a rat model. *Nutrition Research and Practice*. 3(2), 95–101.  
<https://doi.org/10.4162/nrp.2009.3.2.95>
- Jiang, X., Chen, L., Qin, J., Qin, C., Jiang, H., Li, E. (2013). Effects of Dietary Soybean Oil Inclusion to Replace Fish Oil on Growth, Muscle Fatty Acid Composition, and Immune Responses of Juvenile Darkbel Catfish, *Peloteobagrus vachelli*. *African Journal of Agricultural Research*. 8(16), 1492-1499.  
DOI:10.5897/AJAR12.156
- Kamisah, Y & Jaarin, K. (2017). Impacts of Fresh and Heated Soybean Oil on Cardiovascular Disease. In C. G. Henderson (Ed), *Soybean Oil Uses, Properties and Role in Human Health*

- (93-103). Nova Science Publisher.
- Komariyah, S., Suprayudi, M. A., & Jusadi, D. (2014). Preliminary study of rubber seed *Hevea brasiliensis* oil utilization for red tilapia diet. *Jurnal Akuakultur Indonesia*. 13(1), 61–67.
- Kushayadi, A. G., Suprayudi, M. A., Jusadi, D., Fauzi, I. A. (2019). Evaluation Of Rubber Seed Oil As Lipid Source In Red Tilapia (*Oreochromis* Sp). *Aquaculture Research*. 51(1), 114-123. <https://doi.org/10.1111/Are.14352>
- Li, L., Zhang, F., Meng, X., Cui, X., Ma, Q., Wei, Y., Liang, M., Xu, H. (2022). Fish Oil Replacement with Poultry Oil in the Diet of Tiger Puffer (*Takifugu rubripes*): Effects on Growth Performance, Body Composition, and Lipid Metabolism. *Hindawi Aquaculture Nutrition*. <https://doi.org/10.1155/2022/2337933>
- Marzuqi, M., Rusdi, I., Giri, N. A., Suwirya, K. (2006). Pengaruh Proporsi Minyak Cumi dan Minyak Kedelai Sebagai Sumber Lemak dalam pakan Terhadap Pertumbuhan Juvenil Kepiting Bakau (*Scylla paramamosain*). *Jurnal Perikanan*. 8(1), 101-107. DOI:10.22146/jfs.170
- Masiha, A., Ebrahimi, E., Mahboobi, S. N., Kadivar, N. (2015). Effects of Dietary Canola Oil Level on the Growth Performance and Fatty Acid Composition on Fingerlings of Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Iranian Journal of Fisheries Sciences*. 14(2), 336-349. DOI:10.46989/001c.20591
- Mc Clements, J., Groosman, G. (2021). The Science Of Plant-Based Foods: Constructing Next-Generation Meat, Fish, Milk, And Egg Analogs. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12771>
- Nogales-Mérida, S., Tomás-Vidal, A., Cerdá, M., J., Martínez-Llorens, S. (2011). Growth performance, histological alterations and fatty acid profile in muscle and liver of sharp snout sea bream (*Diplodus puntazzo*) with partial replacement of fish oil by pork fat. *Aquaculture International*. 19(5), 917-929. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10499-010-9410-z>
- Qiao, H., Wang, H., Song, Z., Ma, J., Li, B., Liu, X., Zhang, S., Wang, J., Zhang, L. (2014). Effects of Dietary Fish Oil Replacement by Microalgae Raw Material on Growth Performance, Body Composition and Fatty Acid Profile of Juvenile Olive Flounder, *Paralichthys olivaceus*. *Aquaculture Nutrition*. 20(6), 646-653.
- Rivai, R.R., Damayanti, F. and Handayani, M., 2015. Potential development of rubber seed (*Hevea brasiliensis*) as an alternative food in North Bengkulu. In *Prosiding seminar nasional masyarakat biodiversitas Indonesia*. 1(2), 343–346. <https://doi.org/10.13057/psnmbi/m010229>
- Roy, J., Larroquet, L., Surget, A., Lanuque, A., Sandres, F., Terrier, F., Corraze, G., Lee, J. C., Skiba-Cassy, S. (2020). Impact on Cerebral Function in Rainbow Trout Fed with Plant Based Omega-3 Long Chain Polyunsaturated Fatty Acids Enriched with DHA and EPA. *Fish and Shellfish Immunology*. 103, 409-420. doi.org/10.1016/j.fsi.2020.05.044
- Sajedkhanian, A., Mohseni, M., Norouzi, M. (2020). Effects of Dietary Fish Oil Replacement by Canola Oil on Some Functional and Growth Parameters in Juveniles of *Salmo caspius*. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*. 20(4), 1219-1233. DOI: 10.22092/ijfs.2021.124599
- Salimon, J. Mudhaffar, B. Abdullah, S. N. (2012). Rubber (*Hevea brasiliensis*) seed oil toxicity effect and Linamarin compound analysis. *Lipids in Health and Disease*. 11(74), 1–8.
- Samuki, K., Setiawati, M., Jusadi, D. Suprayudi, M., A. (2020). The Evaluation Of A-Lipoic Acid Supplementation In Diet On The Growth Performance Of Giant Gourami (*Osphronemus gouramy*) Juveniles. *Aquaculture Research*. 52(4), 1538-1547. <https://doi.org/10.1111/Are.15006>
- Sankian, Z., Khosravi, S., Kim, Y-O., Lee, S-M. (2019). Total Replacement of Dietary Fish Oil with Alternative Lipid Sources in A Practical Diet for Mandarin Fish, *Siniperca scherzeri*, Juveniles. *Fisheries*



- and Aquatic Sciences*. 22(8). 1-9.  
<https://doi.org/10.1186/s41240-019-0123-6>
- Sarker, P. K., Kapuscinski, A. R., Lanois, A. J., Livesey, E. D., Bernhard, K. P., Coley, M. L. (2016). Towards Sustainable Aquafeeds: Complete Substitution Fish Oil with Marine Microalga *Schizochytrium* sp. Improves Growth and Fatty Acid Deposition in Juvenile Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). *PLOS ONE*. 11(6), 1-17.  
10.1371/journal.pone.0156684
- Sattang, S., Amornlerdpison, D., Tongsiri, S., Palic, D., Mengumphan, K. (2021). Effect of Freshwater Fish Oil Feed Supplementation on the Reproductive Condition and Production Parameters of Hybrid Catfish (*Pangasius larnaudii* x *Pangasianodon hypophthalmus*, Sauvage, 1878) Broodstock. *Aquaculture Reports*. 20, 1-7.  
doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100598
- Siahaan, S., Setyaningsih, D. and Hariyadi, 2009. Potensi pemanfaatan biji karet (*Hevea brasiliensis* Muell.Arg) sebagai sumber energi alternatif biokerosin. *Teknologi industri pertanian*. 19(3), 145–151.  
<https://journal.ipb.ac.id/index.php/jurnaltin/article/view/1777>
- Spalvins, K., Blumberga, D. (2018). Production Of Fish Feed And Fish Oil From Waste Biomass Using Microorganisms: Overview Of Methods Analyzing Resource Availability. *Environmental And Climate Technologies*. 22(1), 149-164. <https://DOI:10.2478/Rtuect-2018-0010>
- Suprayudi, M.A., Inara, C., Ekasari, J., Priyoutomo N., Haga, Y., Takeuchi, Y. Satoh, S. (2015). Preliminary Nutritional Evaluation Of Rubber Seed And Defatted Rubber Seed Meals As Plant Protein Sources For Common Carp *Cyprinus Carpio* L. Juvenile Diet. *Aquaculture Research*. 46(12), 2972-2981.  
<https://Doi.Org/10.1111/Are.12452>
- Syahrizal, Safratilofa, Zaki, M. A. (2022). Minyak Sawit dalam Pakan sebagai Bahan Trigger Pertumbuhan Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*). *Jurnal Akuakultur Sungai dan Danau*. 7(2), 107-114.
- Tian, J-J., Lu, R-H., Ji, H., Sun, J., Li, C., Liu, P., Lei, C-X., Chen, L-Q., Du, Z-Y. (2015). Comparative Analysis of the Hepatopancreas Transcriptome of Grass Carp (*Ctenopharyngodon idellus*) Fed with Lard Oil and Fish Oil Diets. *Gene*. 565(2), 192-200.  
DOI: 10.1016/j.gene.2015.04.010
- Tibaldi, E., Zitelli, G. C., Parisi, G., Bruno, M., Giorgi, G., Tulli, F., Venturini, S., Tredici, M. R., Poli, B. M. (2015). Growth Performance and Quality Traits of European Sea Bass (*D. labrax*) Fed Diets Including Increasing Levels of Freeze-Dried *Isochrysis* sp. (T-ISO) Biomass as a Source of Protein and n-3 Long Chain PUFA in Partial Substitution of Fish Derivatives. *Aquaculture*. 440, 60-68.  
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.02.002>
- Turchini, G. M., Hermon, K., Cleveland, B. J., Emery, J. A., Rankin, T., Francis, D. S. (2013). Seven Fish Oil Substitutes Over a Rainbow Trout Grow-Out Cycle: Effects on Performance and Fatty Acid Metabolism. *Aquaculture Nutrition*. 19, 82-94. doi: 10.1111/anu.12046
- Turchini, G. M., Torstensen, B. E., Ng, W. K. (2009). Fish oil replacement in finfish nutrition. *Review in Aquaculture*. 1(1), 10-57. <https://doi.org/10.1111/j.1753-5131.2008.01001>
- USDA. (2006). United States Department Of Agriculture: Canada Oilseeds and Products Oilseeds Annual Report 2006. [https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/Report/DownloadReportByFileName?fileName=Oilseeds+Annual+Report\\_Ottawa\\_Canada\\_05-09-2006.pdf](https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/Report/DownloadReportByFileName?fileName=Oilseeds+Annual+Report_Ottawa_Canada_05-09-2006.pdf)
- USDA. (2020). United States Department Of Agriculture: Wildlife And Fisheries Report. <https://www.fsa.usda.gov/programs-and-services/environmental-cultural-resource/wildlife-and-fisheries/index>
- Valderrama, P & Marco, P. H. (2017). Analysis of Soybean Oil through Spectroscopy and Chemometric Methods. In C. G. Henderson (Ed), *Soybean Oil Uses, Properties and Role in Human Health* (1-20). Nova Science Publisher.

- Weerasingha, R., Kamarudin, M. S., Karim, M. M. A., Ismail, M. F. S. (2022). Replacing Fish Oil with Crude Palm Oil in the Diet of Larval Hybrid Lemon Fin Barb (*Barbonymus gonionotus* x *Hypsibarbus wetmorei*). *Aquaculture Reports*. 24, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2022.101121>
- Wei, M., Parrish, C. C., Guerra, N. I., Armenta, R. E., Colombo, S. M. (2021). Extracted Microbial Oil from a Novel *Schizochytrium* sp. (T18) as a Sustainable High DHA Source for Atlantic Salmon Feed: Impacts on Growth and Tissue lipids. *Aquaculture*. 534, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.736249>
- Zhou, L., Han, D., Zhu, X., Yang, Y., Jin, J., Xie, S. (2015). Effects of Total Replacement of Fish Oil by Pork Lard or Rapeseed Oil and Recovery by A Fish Oil Finishing Diet on Growth, Health and Fish Quality of Gibel Carp (*Carassius auratus gibelio*). *Aquaculture Research*. 47(9), 2961-2975. <https://doi.org/10.1111/are.12748>