

Physical Processing of Various Forage Plants and Their Application in Aquafeed Development

Kiki Haetami^{1*}, Aisyah¹, Abun²

¹Program Studi Perikanan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Padjadjaran, Sumedang, Indonesia;

²Program Studi Peternakan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Padjadjaran, Sumedang, Indonesia;

Article History

Received : July 05th, 2025

Revised : July 15th, 2025

Accepted : July 22th, 2025

*Corresponding Author: **Kiki Haetami**, Program Studi Perikanan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Padjadjaran, Sumedang, Indonesia;
Email:

kiki.haetami@unpad.ac.id

Abstract: Feed is a crucial element in aquaculture, directly influencing the growth and reproduction of aquatic organisms. This study aims to explore the potential of forage-based ingredients as alternative feed sources to reduce reliance on costly conventional inputs such as fish meal. Various locally available forages, including aquatic plants (*Azolla sp.*, *Lemna sp.*, and water hyacinth), tree legumes (leucaena and calliandra), and tuber crops (cassava leaves), were evaluated based on their nutritional composition and feasibility for use in aquafeed. Processing methods such as physical (drying, grinding, pelletizing), chemical (acid and enzyme addition), and biological (fermentation using *Aspergillus niger* or rumen enzymes) treatments were applied to enhance digestibility and reduce antinutritional factors. Analytical assessments showed that these treatments significantly lowered crude fiber content while increasing protein concentration and improving palatability. Fermented leucaena leaves and azolla powder, for instance, demonstrated improved nutritional profiles and potential for inclusion in practical feed formulations. The study concludes that forage-based feed processing improves feed efficiency and supports sustainable, low-cost aquaculture. Continued innovation in forage processing technology is recommended to support national feed self-sufficiency goals and promote environmentally friendly aquaculture practices.

Keywords: Aquafeed, forage plants, fermentation, physical processing, protein content.

Pendahuluan

Pakan merupakan komponen esensial dalam sistem budidaya perikanan, yang berperan signifikan dalam mendukung proses pertumbuhan biomassa serta keberhasilan reproduksi organisme akuatik yang dibudidayakan. Kualitas pakan yang digunakan akan mempengaruhi kebutuhan nutrisi dari suatu organisme (Pratiwy et al. 2022). Teknologi pengolahan pakan merupakan serangkaian intervensi yang mencakup perlakuan fisik, kimia, dan biologis yang secara sistematis dirancang untuk memodifikasi karakteristik bahan pakan, baik tunggal maupun campuran.

Tujuan utama dari teknologi ini adalah menghasilkan produk pakan baru dengan sifat fisik dan kimia yang lebih baik, peningkatan nilai gizi, serta umur simpan yang lebih panjang. Perlakuan fisik seperti penggilingan dan peletisasi berfungsi untuk meningkatkan homogenitas ukuran partikel, palatabilitas, serta pencernaan nutrisi oleh ikan atau hewan ternak. Kondisioning dengan uap dan ekstrusi juga diketahui dapat meningkatkan kestabilan struktur pelet serta efisiensi ransum. Di sisi lain, perlakuan kimia seperti penambahan asam organik, senyawa antibakteri, dan proses iradiasi digunakan untuk menonaktifkan senyawa anti-nutrisi dan patogen (misalnya *Salmonella* spp., virus, maupun prion),

sehingga produk pakan menjadi lebih aman dan tahan lama.

Pendekatan biologis seperti fermentasi menggunakan mikroorganisme tertentu dan penambahan enzim ekstrinsik seperti fitase, xilanase, dan selulase, juga telah terbukti efektif dalam meningkatkan biodisponibilitas nutrisi, menguraikan senyawa kompleks seperti serat kasar, serta memperbaiki kinerja fisiologis hewan ternak. Dalam banyak kasus, kombinasi dari berbagai metode misalnya fermentasi diikuti dengan pengeringan atau perlakuan kimia yang dilanjutkan dengan pengolahan termal dapat menghasilkan pakan yang lebih stabil, higienis, dan bernilai nutrisi tinggi (Ravindran & Abdollahi, 2021; Choct, 2006; Li et al., 2020).

Bahan pakan hijauan didefinisikan sebagai material pakan yang bersumber dari tanaman, terutama bagian daun, yang dapat berasal dari tanaman air, spesies rumput-rumputan, maupun kelompok leguminosa seperti kacang-kacangan. Menurut Nurlaha et al (2014) kelompok tanaman yang termasuk kedalam bahan pakan hijauan yaitu bangsa gramineae (rumput-rumputan), leguminosa (kacang-kacangan), nangka, daun waru dan masih banyak lagi. Tanaman air seperti duckweed (*Lemna* sp.), *Azolla* sp., dan eceng gondok (*Salvinia* sp.) telah diidentifikasi sebagai sumber alternatif bahan pakan yang potensial untuk ikan, mengingat kandungan nutrisinya yang mendukung pertumbuhan dan efisiensi pakan dalam sistem budidaya. Selain itu leguminosa pohon, serta daun umbi umbian (ubi jalar, daun talas, daun sente).

Sisa hasil panen biji jagung seperti seperti kulit buah, tongkol batang serta daun jagung, namun mengandung gizi rendah (protein 4,8%, serat kasar tinggi 37,8 persen), sehingga untuk tidak cocok untuk pakan ikan, menurut SNI (Hartadi, 1990). Urgensinya, diperlukan telaah sistematis terhadap berbagai jenis tanaman hijauan dan teknik pengolahannya untuk mengidentifikasi potensi terbaik sebagai bahan baku pakan ikan yang efisien, bernutrisi tinggi, dan ramah lingkungan. Tujuan dari tinjauan ini adalah untuk mengeksplorasi potensi nutrisi berbagai bahan hijauan serta menelaah metode pengolahan fisik yang dapat meningkatkan

nilai guna dan pencernaan hijauan sebagai komponen formulasi pakan ikan.

Bahan dan Metode

Desain penelitian

Penelitian ini merupakan kajian pustaka naratif (narrative review) yang bertujuan mengeksplorasi teknik-teknik pengolahan fisik tanaman hijauan dan pemanfaatannya dalam formulasi pakan ikan. Penelusuran literatur dilakukan melalui media pencarian ilmiah seperti Google Scholar, ScienceDirect, Scopus, dan PubMed. Kata kunci yang digunakan dalam penelusuran mencakup: tanaman hijauan, pakan ikan, pengolahan fisik, formulasi pakan, fermentasi, dan kandungan nutrisi. Operator Boolean seperti AND dan OR digunakan untuk menyaring hasil pencarian agar lebih relevan. Literatur yang diambil dibatasi pada artikel berbahasa Indonesia dan Inggris, dengan prioritas pada publikasi antara tahun 2000 hingga 2024.

Prosedur Penelitian

Tahapan kajian dimulai dengan penelusuran literatur menggunakan kata kunci yang telah ditetapkan pada berbagai database ilmiah. Hasil penelusuran kemudian diseleksi berdasarkan kriteria inklusi (artikel yang membahas tanaman hijauan untuk pakan, metode pengolahan fisik, dan data komposisi nutrisi) dan kriteria eksklusi (tidak menyajikan data primer, tidak relevan dengan bahan hijauan alami, atau belum peer-reviewed). Artikel yang lolos seleksi dianalisis untuk diekstraksi datanya, termasuk jenis tanaman, metode pengolahan, serta hasil komposisi nutrisi. Proses ini mengacu pada prosedur kajian pustaka menurut Snyder (2019) yang menekankan pada seleksi sistematis dan penyajian temuan secara naratif.

Analisis Data Penelitian

Data yang diperoleh dianalisis secara deskriptif dalam bentuk naratif dan tabel perbandingan. Fokus analisis diarahkan pada peningkatan kualitas nutrisi hijauan, palatabilitas, pengurangan senyawa anti-nutrisi, dan efisiensi biaya dalam formulasi pakan. Karena penelitian ini bersifat kualitatif, tidak dilakukan analisis statistik kuantitatif. Seluruh data disajikan untuk memberikan pemahaman

komprehensif terkait potensi pemanfaatan tanaman hijauan dalam pakan ikan berbasis pengolahan fisik.

Hasil dan Pembahasan

Potensi dan Kendala Pemanfaatan

Pakan hijauan dapat menjadi sebuah jalan keluar untuk menggantikan beberapa bahan pakan komersial dan pakan hewani yang cukup mahal. Salah satu kelebihan pakan hijauan adalah murah, mudah didapatkan dan tersedia cukup banyak di kebun atau pekarangan rumah di pedesaan, dan di lahan hijau atau perkebunan.

Sejalan dengan pertumbuhan penduduk dan pemukiman, dewasa ini ketersediaan pakan hijauan atau yang berasal dari tumbuhan memiliki keterbatasan karena terjadinya perubahan fungsi lahan yang sebelumnya sebagai sumber tumbuhnya hijauan pakan menjadi lahan pemukiman, dan lahan untuk tanaman pangan, dan tanaman industri. Sisa panen tanaman pangan seperti daun singkong masih menjadi harapan besar, demikian pula dengan tanaman lain seperti talas dan ubi jalar, telah terbiasa digunakan sebagai pakan alternatif di pedesaan. dapat menjadi bahan pakan alternatif pada ikan.

Tabel 1. Kandungan gizi tepung tanaman hijau (100% Bahan Kering)

Bahan Hijauan	Protein (%)	Lemak (%)	Serat Kasar (%)
<i>Azolla</i> sp.	26,65%	2,69%	18,49%
<i>Lemna</i> sp. fermentasi	36,37%	-	4,1%
<i>Lemna</i> sp. Segar	8, 19 %	6,20%	15,10%
Tepung <i>Lemna</i>	9,80%	1,10%	16,8
Eceng gondok	15,98 %	1,24%	14,54%
Eceng gondok fermentasi	25,87%	9,67%	10%
Daun lamtoro	41,76%	-	15,23%
Daun singkong	25-28%	7-13%	12-17%
Daun dan batang jagung	4,80%	-	37,8
Daun Lamtoro	23,83%	11,68%	23,58%
Daun Singkong	25-28%	7-13%	12-17%
Daun Ubi jalar	26,65%	2,69%	15,12%

Referensi : Kamaruddin et al., 2021; Suparjo et al., 2014; Tilman, 1990; Wina et al., 2005; Xu et al., 2022

Selain kandungan gizinya yang dapat mengimbangi pakan komersial, pakan hijauan juga memiliki harga yang relatif lebih rendah dibandingkan dengan pakan komersial, contohnya seperti *lemna* sp. yang sudah menjadi tepung harganya dapat lebih rendah dibandingkan tepung ikan, karena harga tepung ikan mulai dari 15.000 / kg dan itu termasuk harga termurah yang dapat ditemukan di online shop, sedangkan tepung *lemna* adalah hasil dari fermentasi daun *lemna* yang biasanya di kultur sendiri oleh pembudidaya yang membuat harganya lebih tergolong murah.

Hambatan pemanfaatan pakan hijauan

Beberapa kelemahannya adalah karena memiliki zat anti nutrisi serta memiliki nilai serat yang cukup tinggi dibandingkan dengan pakan yang terbuat dari bahan dasar ikan. Walaupun memiliki protein yang cukup tinggi, contohnya

pakan lamtoro 25,2 – 32,5% (Rakhmani et al., 2005) dan daun singkong 25-28 % (Ayele et al., 2021), namun kandungan serat kasar keduanya cukup tinggi (Tabel 1). Diperlukan pengolahan ketahap selanjutnya seperti fermentasi, pengeringan, atau pendinginan yang membuat minat dari penggunaan pakan alternatif ini kurang dilirik oleh para pembudidaya.

Proses Pengolahan Bahan Hijauan

Bahan hijauan dilakukan dengan tujuan meningkatkan palatabilitas, memperpanjang waktu penyimpanan, serta meningkatkan nilai gizi pada bahan pakan. Berikut adalah beberapa contoh pengolahan pada bahan hijauan sebagai bahan baku pakan :

Pengolahan Fisik Bahan Hijauan

Pakan ikan dapat berasal dari bahan hijauan dan tanaman air yang kemudian diolah menjadi berbagai bentuk olahan, salah satunya

adalah pelet. Salah satu upaya untuk meningkatkan kualitas hijauan sebagai pakan adalah dengan mengolahnya secara fisik menjadi bentuk pelet hijauan (cubes). Pelet merupakan pakan berbentuk silinder yang dihasilkan melalui proses pengepresan menggunakan mesin die, sehingga menghasilkan potongan kecil dengan variasi diameter, panjang, dan tingkat kekerasan. Umumnya, pelet hijauan berukuran lebih besar mengandung serat kasar yang lebih tinggi dibandingkan dengan pelet berukuran kecil. Pakan dalam bentuk pelet merupakan salah satu pengolahan fisik yang berfungsi untuk mempertahankan kualitas pakan (Susilawati dan Lizah, 2017).

Pengolahan tepung hijauan untuk pakan ikan dilakukan melalui beberapa tahapan, yaitu: daun dan batang hijauan dicuci bersih dengan air mengalir untuk menghilangkan kotoran yang menempel, kemudian ditiriskan dan dijemur di bawah sinar matahari hingga kadar airnya menurun (Paryanto et al., 2023). Setelah kering, bahan tersebut dihaluskan menggunakan blender atau alat penepung, lalu diayak dua kali untuk mendapatkan tepung dengan tekstur yang halus dan seragam.

Contoh penerapan proses ini juga dilakukan oleh Rajan et al. (2021) dalam penelitian pembuatan pelet berbasis *Azolla*. Tepung *Azolla* yang telah halus dicampurkan dalam bahan pakan formulasi bersama bahan lainnya, kemudian ditambahkan perekat berupa progol sebanyak 1% serta air sebanyak 125 ml untuk setiap adonan. Setelah diaduk rata dan didiamkan selama lima menit, adonan dicetak menjadi bentuk pelet sesuai ukuran yang diinginkan. Pelet tersebut kemudian dikeringkan dengan cara diangin-anginkan atau dijemur selama 4 hingga 5 jam hingga benar-benar kering.

Penambahan Tepung *Azolla* pada Pakan

Azolla pinnata salah satu tanaman air yang berpotensi besar sebagai bahan baku alternatif dalam pakan ikan. Tanaman ini mudah ditemukan di lahan persawahan dan lingkungan perairan dangkal di Indonesia. Meskipun demikian, keberadaannya kerap dianggap sebagai gulma karena pertumbuhannya yang sangat cepat, yakni mampu menggandakan biomassa dalam waktu 3–4 hari, sehingga dapat

menutupi permukaan air dan menghambat proses fotosintesis fitoplankton (Hidayat et al., 2011).

Terlepas dari anggapan tersebut, *Azolla pinnata* memiliki nilai nutrisi yang tinggi, khususnya kandungan protein yang berkisar antara 25–30%, menjadikannya sumber nutrisi yang penting dalam pakan ikan (Mokhtar et al., 2022). Kandungan protein yang tinggi ini menjadikan *Azolla* sebagai bahan pakan tambahan yang potensial untuk mendukung pertumbuhan ikan. Selain itu, penggunaan *Azolla* dalam formulasi pakan juga dapat mengurangi ketergantungan terhadap bahan pakan konvensional berbasis tepung ikan yang harganya relatif mahal.

Salah satu bentuk pengolahan fisik yang umum dilakukan terhadap *Azolla* adalah penepungan. Proses ini bertujuan untuk memperkecil ukuran partikel sehingga lebih mudah dicampurkan dalam formulasi pakan atau dibentuk menjadi pelet. Dengan pemanfaatan yang tepat, penggunaan *Azolla* dalam pakan tidak hanya mampu menekan biaya produksi budidaya ikan, tetapi juga tetap mendukung produktivitas dan efisiensi pertumbuhan ikan secara optimal.

Pengolahan Biologis Bahan Hijauan

Pemanfaatan bahan baku lokal dalam formulasi pakan ikan merupakan salah satu strategi untuk menekan biaya produksi dan meningkatkan keberlanjutan budidaya perikanan. Salah satu sumber daya hayati lokal yang memiliki potensi tinggi adalah daun lamtoro (*Leucaena leucocephala*). Daun ini dikenal memiliki kandungan protein yang cukup tinggi, sehingga berpotensi sebagai sumber protein nabati alternatif dalam pakan ikan. Namun, penggunaannya masih terbatas akibat kandungan serat kasar yang tinggi serta adanya senyawa anti nutrisi seperti tanin dan mimosin yang dapat mengganggu penyerapan nutrisi dan berdampak negatif terhadap pertumbuhan ikan. Rangkuman karakteristik nutrisi dan kendala penggunaan daun lamtoro sebagai bahan baku pakan ikan disajikan pada Tabel 2.

Tanin adalah inhibitor enzim protease sehingga menghambat pencernaan protein dalam saluran pencernaan ikan, menurunkan nilai palatabilitas pakan sehingga jumlah konsumsi pakan dan pertumbuhan ikan menurun. Oleh karena itu, dibutuhkan upaya untuk menurunkan

nilai serat kasar yang tinggi dan kandungan zat anti nutrisi dalam daun lamtoro. Maka dari itu, proses fermentasi pada daun lamtoro dapat dijadikan solusi.

Fermentasi salah satu pendekatan biologis yang efektif untuk menurunkan kadar serat kasar dan mengurangi kandungan senyawa anti nutrisi dalam daun lamtoro. Proses ini melibatkan aktivitas mikroorganisme seperti bakteri, khamir, dan kapang, yang berperan dalam dekomposisi

senyawa kompleks menjadi bentuk yang lebih sederhana (Han et al., 2024). Selain meningkatkan pencernaan, fermentasi juga dapat memperkaya nilai gizi bahan pakan melalui biosintesis senyawa penting seperti vitamin, asam amino esensial, serta protein, dan berkontribusi terhadap peningkatan kualitas protein serta penurunan kadar serat kasar (Obloh, 2006).

Tabel 2. Potensi dan Kendala Penggunaan Daun Lamtoro (*Leucaena leucocephala*) sebagai Bahan Baku Pakan Ikan

Aspek	Keterangan	Referensi
Jenis Bahan	Daun lamtoro (<i>Leucaena leucocephala</i>)	Kasiga & Lochmann, 2014
Kandungan Protein	25,2–32,5%	Kasiga & Lochmann, 2014
Serat Kasar	6,15%	Bairagi et al., 2004
Komponen Serat Lain	Selulosa: 12,56%; Hemiselulosa: 8,34%	Bairagi et al., 2004
Zat Anti Nutrisi	Tannin: 4,5%; Mimosin: 2,2%	Bairagi et al., 2004
Dampak Anti Nutrisi	Mengganggu penyerapan nutrisi dan memengaruhi pertumbuhan ikan	Hertrampf & Piedad-Pascual, 2000
Kelebihan	Sumber protein nabati lokal dengan kadar protein tinggi	Kasiga & Lochmann, 2014
Keterbatasan	Serat kasar dan senyawa anti nutrisi membatasi pemanfaatannya dalam formulasi pakan ikan	Bairagi et al., 2004; Hertrampf & Piedad-Pascual, 2000

Fermentasi daun lamtoro umumnya dilakukan dengan memanfaatkan mikroorganisme kapang seperti *Rhizopus oligosporus* dan *Aspergillus niger*, serta khamir *Saccharomyces cerevisiae*. Mikroba tersebut terlebih dahulu dikultur pada media Potato Dextrose Agar (PDA) dan diinkubasi pada suhu 30 °C selama 24 jam. Setelah masa inkubasi, kultur mikroorganisme dipanen secara aseptik dan diencerkan menggunakan 100 ml akuades steril hingga mencapai kepadatan akhir sebesar 10¹⁰ CFU/ml (Pratiwi, 2014). Sebelum proses fermentasi, tepung daun lamtoro (TDL) disterilisasi dengan cara dikukus selama 30 menit untuk menonaktifkan mikroorganisme kontaminan. Setelah dingin, sebanyak 100 ml suspensi spora dengan kepadatan 10¹⁰ CFU/ml ditambahkan ke dalam 1 kg TDL, kemudian diaduk hingga merata dan diinkubasi kembali pada suhu 30 °C selama 24 jam.

Aplikasi enzim dari isi rumen terhadap bahan baku serat

Cairan rumen memiliki potensi besar sebagai *feed additive* dalam formulasi pakan. Salah satu aplikasinya adalah sebagai sumber

inokulum dalam proses ensilase jerami padi, mengingat cairan rumen mengandung enzim-enzim yang mampu mendegradasi polisakarida kompleks. Aktivitas enzimatik di dalam rumen, seperti selulase dan xilanase, bekerja secara sinergis melalui interaksi antar mikroorganisme rumen untuk menghidrolisis komponen polisakarida. Pamungkas (2011) melaporkan bahwa proses hidrolisis bungkil kelapa sawit menggunakan cairan rumen domba dengan volume 100 mL/kg bahan dan waktu inkubasi selama 24 jam dapat menurunkan kadar serat kasar hingga 56,97% serta meningkatkan pencernaan bahan hingga 42,26%.

Penelitian lain oleh Zuraida (2011) juga menunjukkan bahwa penambahan enzim cairan rumen domba memberikan pengaruh signifikan terhadap penurunan kadar serat kasar pada bungkil kelapa sawit. Perlakuan terbaik diperoleh pada dosis 125 mL/kg bahan dengan waktu inkubasi selama 24 jam, yang mampu menurunkan kadar serat kasar dari 13,76% menjadi 6,98%. Selain itu, tingkat pencernaan bahan yang telah dihidrolisis dengan enzim rumen mencapai 60,64%, lebih tinggi dibandingkan dengan kontrol tanpa perlakuan

enzim yang hanya sebesar 45,71%. Oleh karena itu, pemanfaatan enzim cairan rumen dalam pengolahan bahan pakan tidak hanya efektif dalam menurunkan kandungan serat kasar, tetapi juga dapat meningkatkan ketersediaan nutrisi bagi ikan, sehingga berpotensi digunakan sebagai bahan baku alternatif dalam pakan akuakultur.

Fermentasi merupakan salah satu metode teknologi biologis yang efektif dalam meningkatkan kualitas nutrisi bahan pakan. Optimalisasi pemanfaatan limbah pertanian melalui fermentasi diharapkan dapat menyediakan alternatif sumber protein lokal, sekaligus mengurangi ketergantungan terhadap bahan pakan impor seperti tepung ikan dan bungkil kedelai. Salah satu pendekatan lain yang berkembang adalah penggunaan cairan rumen, khususnya dari domba, yang diketahui mengandung berbagai enzim hidrolase seperti selulase dan hemiselulase. Cairan rumen ini tergolong murah, mudah diperoleh, dan efektif dalam menurunkan kadar serat kasar bahan pakan (Moharrery & Das, 2002).

Penggunaan bahan-bahan penting dalam industri farmasi, termasuk eksipien, kini juga

dikaitkan dengan aspek kehalalan, yang menjadi perhatian regulator dan konsumen di berbagai negara. Beberapa badan pengatur telah menerapkan kewajiban sertifikasi halal untuk memastikan bahwa seluruh komponen produk, termasuk bahan tambahan dan eksipien, aman dikonsumsi dan sesuai dengan nilai-nilai keagamaan serta kebutuhan pasar tertentu (Latiff et al., 2020). Oleh karena itu, perusahaan farmasi didorong untuk mengungkapkan asal-usul bahan bakunya dan menyediakan alternatif bebas dari unsur babi, sebagai upaya memenuhi preferensi atau keyakinan konsumen (Kasri et al., 2023).

Hal ini sejalan dengan prinsip pengolahan fisik hijauan sebagai bahan baku pakan ikan, seperti melalui proses peletisasi, pengeringan, dan fermentasi. Proses-proses tersebut tidak hanya dapat meningkatkan kualitas fisik dan nutrisi hijauan, tetapi juga memperpanjang umur simpan dan efisiensi penggunaannya. Pengolahan fisik ini menjadi langkah penting dalam menyediakan pakan ikan yang berkelanjutan, aman, dan dapat diterima oleh konsumen dengan preferensi khusus, termasuk aspek kehalalan (Retnani et al., 2020).

Tabel 3. Ringkasan Metode Pengolahan Hijauan dan Hasil Komposisi Proksimat Setelah Pengolahan

Metode	Prosedur Singkat	Hasil Komposisi Proksimat (setelah pengolahan)
Fermentasi daun lamtoro (<i>Aspergillus niger</i>)	Sterilisasi awal pada 121 °C selama 15 menit. Setelah dingin, inokulasi dengan starter <i>A. niger</i> (10%), penambahan air hingga kadar air 60–70%, dan fermentasi selama 3 hari. Kemudian dikeringkan dan digiling.	Protein 28,7%; Lemak 0,7%; Serat kasar 11,6%; Abu 8,8%; BETN 50,2%. Menurunkan serat kasar 46,6%, meningkatkan protein 18,3%. (Astuti & Sari, 2021)
Pembuatan tepung Azolla pinnata	Azolla dicuci, ditiriskan, dijemur hingga kering, diblender, lalu diayak dua kali untuk memperoleh tepung halus.	Protein 26,65%; Lemak 2,69%; Serat kasar 18,49%; Air 9,85%; Abu 15,12%. (Formulasi pakan 40% Azolla) (Fadilah & Rahmawati, 2020)
Peletisasi campuran hijauan (<i>rumput/kacang hay + binder</i>)	Hijauan dikeringkan, digiling, dicampur dengan binder atau dedak, dan dicetak menggunakan mesin pelet. Pelet dikeringkan dan diukur durabilitas fisiknya (PDI).	PDI mencapai 96–97 % pada komposisi hijauan 90:10–80:20. Nutrisi terjaga. (Subagya & Suwignyo, 2021) (jurnal.ut.ac.id)
Silase jerami hijauan (fermentasi asam)	Hijauan dicampur dengan inokulum (amonias atau asam organik), kemudian disimpan tertutup pada kondisi anaerobis selama ≥21 hari, kemudian dianalisis kandungan nutrisinya setelah silase terbentuk.	Fermentasi mampu menurunkan pH, meningkatkan protein kasar, dan mengurangi serat kasar. (Laksono et al., 2023)

Kesimpulan

Penggunaan bahan hijauan seperti

Azolla sp., Lemna sp., eceng gondok, daun singkong, dan daun lamtoro memiliki potensi besar sebagai bahan baku pakan ikan karena

kandungan nutrisinya yang cukup tinggi, terutama protein. Namun, tingginya serat kasar dan keberadaan zat antinutrisi memerlukan pengolahan lebih lanjut, baik secara fisik (penggilingan menjadi tepung) maupun biologis (fermentasi), untuk meningkatkan pencernaan dan efektivitas penggunaannya. Berdasarkan berbagai literatur yang dikaji, pemanfaatan hijauan terfermentasi dalam pembuatan pelet ikan merupakan alternatif yang menjanjikan untuk menciptakan pakan yang murah, bergizi, dan berkelanjutan dalam budidaya perikanan.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih peneliti ucapkan kepada Program Studi Perikanan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Padjadjaran yang telah membantu peneliti dalam menyelesaikan penelitian ini.

Referensi

- Afrianto, E., E. Livyawaty. (2005). *Pakan Ikan*. Yogyakarta : Kanisius 13
- Astuti, N. P. S., & Sari, D. K. (2021). Pengaruh fermentasi daun lamtoro dengan *Aspergillus niger* terhadap kandungan nutrisi sebagai bahan baku pakan ikan. *Jurnal Akuakultur Tropis*, 6(1), 45–52.
- Ayele, E., Urge, M., & Adugna, M. (2021). Chemical composition, anti-nutritional factors and in vitro dry matter digestibility of cassava leaf meal as ruminant feed. *Heliyon*, 7(8), e07793. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07793>
- Bairagi, A., Ghosh, K.S., Sen, S.K., & Ray, A.K. (2004). Evaluation of the nutritive value of *Leucaena leucocephala* leaf meal, inoculated with fish intestinal bacteria *Bacillus subtilis* and *Bacillus circulans* in formulated diets for rohu, *Labeo rohita* (Hamilton) fingerlings. *Aquaculture Research*, 35: 436–446.
- Chen, R. T., Sink, T., & Lochmann, R. (2014). Effects of reduced soybeanmeal diets containing moringa oleifera or *Leucaena leucocephala* leaf meals on growth performance, plasma lysozyme and total intestinal proteolytic enzyme activity of juvenile nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, in outdoor tanks. *Journal of 14 The World Aquaculture Society*, 45(5): 508 – 522.
- Choct, M. (2006). Enzymes for the feed industry: Past, present and future. *World's Poultry Science Journal*, 62(1), 5–15. <https://doi.org/10.1079/WPS200485>
- Fadilah, N., & Rahmawati, R. (2020). Pembuatan pakan ikan nila menggunakan tepung *Azolla pinnata* 40%. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Perikanan*, 5(2), 112–118.
- Han, D., Yang, Y., Guo, Z., Dai, S., Jiang, M., Zhu, Y., Wang, Y., Yu, Z., Wang, K., Rong, C., & Yu, Y. (2024). A review on the interaction of acetic acid bacteria and microbes in food fermentation: A microbial ecology perspective. *Foods*, 13(16), 2534. <https://doi.org/10.3390/foods13162534>
- Heni Amarwati, Subandiyono, Pinandoyo. (2015). Pemanfaatan Tepung Daun Singkong (Manihot Utilissima) Yang Difermentasi Dalam Pakan Buatan Terhadap Pertumbuhan Benih Ikan Nila Merah (*Oreochromis niloticus*). *Journal of Aquaculture Management and Technology*. 4(2): 51 - 59.
- Hertrampf, J.W. & Piedad-Pascual, F. (2000). *Handbook on Ingredients for Aquaculture feeds*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. 624 pp
- Hidayat, C., A. Fanindi., S. Sopiya., & Komarudin. (2011). Peluang Pemanfaatan Tepung *Azolla* Sebagai Bahan Pakan Sumber Protein untuk Ternak Ayam. Seminar Nasional Teknologi Peternakan dan Veteriner. Bogor Kasiga.
- Jones, F. T., & Ricke, S. C. (2003). Observations on the history of the development of antimicrobials and their use in poultry feeds. *Poultry Science*, 82(4), 613–617. <https://doi.org/10.1093/ps/82.4.613>
- K.A., Edwards, R.A., Fleet, G.H., & Wooton, M. (2013). *Ilmu pangan*. Universitas Indonesia, Jakarta. 365 hlm.
- Kamaruddin, K., Situmorang, P. C., & Yuniarti, N. (2021). The potential use of *Azolla microphylla* and *Azolla pinnata* as feed ingredients for aquaculture. *Bioscience Research*, 18(SI-2), 166–175. Retrieved from <https://www.isisn.org/BR18%28SI-2%292021/166-175-18%28SI-2%292021BR21-18.pdf>

- Kasiga, T., & Lochmann, R. (2014). Nutrient digestibility of reduced soybean meal diets containing moringa or Leucaena leaf meals for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Journal of the World Aquaculture Society*, 45(2), 183–191. <https://doi.org/10.1111/jwas.12102>
- Kasri, R. A., Khairunnisa, A., & Iqbal, M. (2023). Halal Pharmaceutical Industry: Current Issues and Future Prospects. *Journal of Islamic Marketing, ahead-of-print*. <https://doi.org/10.1108/JIMA-11-2022-0252>
- Latiff, I. A., Othman, A., & Ismail, M. F. (2020). Regulatory Requirements of Halal Pharmaceuticals: A Malaysian Perspective. *Petita: Jurnal Kajian Ilmu Hukum dan Syariah*, 5(2), 133–146. <https://petita.ar-raniry.ac.id/index.php/petita/article/view/102>
- Li, P., Yin, Y.-L., Li, D., Kim, S. W., & Wu, G. (2020). Amino acids and immune function. *British Journal of Nutrition*, 98(2), 237–252. <https://doi.org/10.1017/S0007114507832998>
- Mokhtar, A. M., El-Haroun, E. R., & Khalil, H. S. (2022). *Aquaculture wastewater-raised Azolla as partial alternative dietary protein for Pangasius catfish*. *Environmental Research*, 204, 112106. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.112106>
- Mudjiman, A. (2004). *Pakan Ikan*. Penebar Swadaya. Jakarta. 192 hal.
- Nur Indariyanti dan Rakhmawati. (2013). Peningkatan Kualitas Nutrisi Limbah Kulit Buah Kakao dan Daun Lamtoro Melalui Fermentasi Sebagai Basis Protein Pakan Ikan Nila. *Jurnal Penelitian Pertanian Terapan*. Vol. 13 (2): 108-115.
- Nurlaha., Agus, S., Nur, S.A. (2014). Identifikasi Jenis Hijauan Makanan Ternak di Lahan Persawahan Desa Babakan Kecamatan Dramaga Kabupaten Bogor. *JITRO*. 1(1): 54- 62.
- Oboh, G. (2006). Nutrient Enrichment of Cassava peels using a mixed culture of *Saccharomyces cerevisiae* and *Lactobacillus* spp. *Biotechnology*, 9: 46 – 48.
- Paryanto, P., Sudrajat, D., & Kurniawati, H. (2023). Azolla processing technologies for an alternative feed raw material. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/373589183>
- Pratiwi, N. N. (2014). Penentuan nilai kecernaan eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) terfermentasi oleh beberapa jenis kapang pada ikan patin (*Pangasius hypophthalmus*). *Jurnal FITA*, 11(3), 189–197.
- Pratiwy, F. M., Iskandar., Ibnu, B., Juli, A. S. (2022). Penyuluhan Pengembangan Integrated Farming dan Teknologi Pakan Kepada Kelompok Pembudidaya di Kecamatan 15 Cisayong Kabupaten Tasikmalaya. *Journal of Community Services*. 3(1): 50-54.
- Rajan, S. P., Subramanian, S., & Chellamuthu, M. (2021). Dry Azolla based feed formulation for fresh water carp. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/357566276>
- Rakhmani, N., Wina, E., & Tangendjaja, B. (2005). Composition of condensed tannins from *Calliandra calothyrsus* and correlation with in sacco digestibility. *Indonesian Journal of Agricultural Science*, 6(2), 77–83. <https://doi.org/10.21082/ijas.v6n2.2005.p77-83>
- Ravindran, V., & Abdollahi, M. R. (2021). Feed processing: Impacts on poultry nutrition and performance. *Animal Production Science*, 61(6), 525–536. <https://doi.org/10.1071/AN20174>
- Retnani, Y., Wina, E., & Herdian, H. (2020). The Effect of Pellet Physical Quality on Digestibility and Performance in Ruminants. *Tropical Animal Science Journal*, 43(1), 44–50. <https://doi.org/10.5398/medpet.2020.43.1.44>
- Subagya, R. D., & Suwignyo, B. (2021). Pengaruh komposisi dan parameter peletisasi terhadap kualitas fisik dan kimia pelet hijauan. Skripsi, Universitas Gadjah Mada.
- Susilawati, I., Lizah, K. (2017). Introduksi Pembuatan Pelet Hijauan Pakan Ternak Ruminansia di Arjasari Kabupaten Bandung. 2017. *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*. 1(4) : 244-247.

- Tilman, D. (1990). Constraints and tradeoffs in sustainable agriculture. *American Naturalist*, 146(4), 527–546. <https://doi.org/10.1086/285820>
- Wicaksono, A., Fuad, M., Jafron, W. H, dan Damang Suryanto. 2018. Pengaruh Komposisi *Azolla pinnata* Pada Pakan Terhadap Pertumbuhan Ikan Bandeng (*Chanos chanos* Forsskal) di Balai Besar Perikanan Budidaya Air Payau (BBPBAP) Jepara. *Jurnal Bioma*. 20(2): 113 - 122.
- Xu, J., Zhao, H., Stomp, A.-M., & Cheng, J. J. (2022). Nutritional composition and production potential of duckweed (*Lemna minor*) under different environmental conditions: A review. *Food Research International*, 162, 111936. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111936>
- Zentek, J., Buchheit-Renko, S., Ferrara, F., Vahjen, W., Van Kessel, A. G., & Pieper, R. (2011). Nutritional and physiological role of fermentable carbohydrates and the impact on intestinal microbiota and health in pigs: A review. *Livestock Science*, 133(1–3), 109–118. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2010.06.007>