



LIVER HISTOLOGICAL RESPONSE OF FEMALE BROODSTOCK CATFISH TO DIETARY SOYBEAN MEAL SUPPLEMENTATION

Vika Maulidiyah^{1)*}, Rizky Kusma Pratiwi¹⁾, Muhamad Dwi Cahya¹⁾, Zakiyyah Nur Inayah¹⁾, Vina Nur Nadiro¹⁾, Anissa Aprilia Nurkhasanah²⁾, Maura Yasmin Dhia¹⁾, Fajar Maulana Akmal Firdaus¹⁾

¹⁾Program Studi Akuakultur, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, PSDKU Universitas Brawijaya Kediri, Kediri, 64112, Indonesia

²⁾Program Studi Sosial Ekonomi Perikanan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, PSDKU Universitas Brawijaya Kediri, Kediri, 64112, Indonesia

ARTICLE INFO

Article history:

Received 22 Apr 2026,

Revised 24 Jun 2026,

Accepted 27 May 2026

Available online 26 Jun 2026

Keywords:

- ✓ catfish;
- ✓ soybean meal;
- ✓ liver histology;
- ✓ vacuolization;
- ✓ hepatocytes

*corresponding author:

vikamaulidiyah@ub.ac.id

Phone: +62 895401457087

[https://doi.org/10.31938/jsn.v](https://doi.org/10.31938/jsn.v16i2.970)

[16i2.970](https://doi.org/10.31938/jsn.v16i2.970)

ABSTRACT

Feed is one of the key factors in fish culture, including the use of plant-based ingredients such as soybean meal as an alternative protein source that may affect the physiological condition of organs, particularly the liver. This study aimed to analyse the effect of soybean meal supplementation in feed on the liver histological response of catfish (*Clarias sp.*). Liver histological characteristics were evaluated in three treatment groups: a control group (without soybean meal supplementation), 5% soybean meal-supplemented diet, and 10% soybean meal-supplemented diet. The results showed that the control group exhibited a relatively normal liver histological structure, characterised by an orderly arrangement of hepatocytes, centrally located nuclei, and clearly visible sinusoids. In the 5% soybean meal treatment, more pronounced histological alterations were observed, particularly cytoplasmic vacuolization of hepatocytes, indicating moderate to severe steatosis. Meanwhile, hepatocyte vacuolization was also observed in the 10% soybean meal treatment, but with a severity ranging from mild to moderate compared with the 5% treatment. These findings indicate that dietary soybean meal supplementation affects liver histology in catfish through a non-linear response pattern. The 5% dose caused greater tissue alterations than the 10% dose, which may be associated with the adaptive response of hepatocytes to feed exposure. These findings indicate that the use of soybean meal in fish feed should consider an appropriate dosage to maintain liver health.

ABSTRAK

Respons Histologis Hati Ikan Lele Betina Terhadap Suplementasi Tepung Kedelai dalam Pakan

Pakan merupakan salah satu faktor penting dalam budidaya ikan, termasuk penggunaan bahan nabati seperti tepung kedelai sebagai sumber protein alternatif yang berpotensi memengaruhi kondisi fisiologis organ, khususnya hati. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh suplementasi tepung kedelai dalam pakan terhadap respons histologi hati ikan lele (*Clarias sp.*). Pengamatan histologi hati dilakukan pada tiga kelompok perlakuan, yaitu kontrol (tanpa suplementasi tepung kedelai), perlakuan suplementasi tepung kedelai 5%, dan perlakuan suplementasi tepung kedelai 10%. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa kelompok kontrol memiliki struktur histologi hati yang relatif normal, ditandai oleh susunan hepatosit yang teratur, inti sel yang umumnya terletak di sentrum, serta sinusoid yang tampak jelas. Pada perlakuan tepung kedelai 5%, ditemukan perubahan histologis berupa vakuolisasi sitoplasma hepatosit yang lebih nyata, yang mengindikasikan terjadinya steatosis dengan tingkat keparahan sedang hingga berat. Sementara itu, pada perlakuan tepung kedelai 10% juga ditemukan vakuolisasi hepatosit, namun dengan tingkat keparahan yang cenderung lebih ringan hingga sedang dibandingkan perlakuan 5%. Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa suplementasi tepung kedelai dalam pakan memengaruhi kondisi histologi hati ikan lele dengan pola respons yang tidak linier. Dosis 5% menunjukkan perubahan jaringan yang lebih besar dibandingkan dengan dosis 10%, yang diduga berkaitan dengan respons adaptif hepatosit terhadap paparan bahan pakan. Temuan ini menunjukkan bahwa penggunaan tepung kedelai dalam pakan perlu mempertimbangkan dosis yang tepat untuk menjaga kesehatan hati ikan.

Kata kunci: ikan lele; tepung kedelai; histologi hati; vakuolisasi; hepatosit



PENDAHULUAN

Ikan lele (*Clarias* sp.) merupakan salah satu komoditas akuakultur air tawar yang memiliki nilai ekonomis tinggi serta tingkat permintaan pasar yang terus meningkat. Keberhasilan pembenihan menjadi bagian penting untuk menjamin keberlanjutan budidaya. Keberhasilan produksi benih tidak hanya dipengaruhi oleh teknik pemijahan dan manajemen pemeliharaan larva, tetapi juga sangat ditentukan oleh kualitas induk yang digunakan. Induk yang berkualitas baik umumnya memiliki kondisi fisiologis yang optimal, tingkat kematangan gonad yang memadai, serta kemampuan reproduksi yang tinggi, sehingga mampu menghasilkan telur dan larva dengan kualitas yang lebih baik. Sebaliknya, induk dengan kualitas rendah cenderung menghasilkan fekunditas, fertilitas, daya tetas, dan sintasan larva yang lebih rendah, yang pada akhirnya dapat menurunkan efisiensi usaha pembenihan. Ketersediaan pakan dalam proses pembenihan tidak hanya mendukung pertumbuhan, tetapi juga harus mampu menunjang fungsi fisiologis organ-organ yang berperan dalam proses reproduksi. Hati merupakan organ penting dalam reproduksi ikan betina karena berperan sebagai tempat sintesis vitellogenin (Zhao et al., 2023), yaitu prekursor utama kuning telur yang sangat dibutuhkan dalam perkembangan oosit. Proses sintesis vitellogenin di hati dipengaruhi oleh stimulasi hormon estrogen, khususnya estradiol-17 β , yang meningkat selama fase perkembangan gonad. Vitellogenin yang dihasilkan kemudian ditransportasikan melalui aliran darah menuju ovarium untuk diakumulasikan ke dalam oosit sebagai cadangan nutrisi bagi embrio (Ye et al., 2022; Zhao et al., 2024). Fungsi fisiologis hati yang optimal sangat menentukan efektivitas proses vitelogenesis, perkembangan oosit, serta keberhasilan pematangan gonad (Liu et al., 2021). Hati tidak hanya berfungsi sebagai organ metabolik, tetapi juga sebagai organ target yang responsif terhadap perubahan hormonal dan nutrisi. Oleh karena itu, kualitas pakan dan komponen penyusunnya perlu diperhatikan karena dapat memengaruhi fungsi hati dalam mendukung performa reproduksi ikan.

Kedelai diketahui mengandung protein, lipid, isoflavone (Tan et al., 2023; Qin et al., 2022) serta asam lemak esensial seperti linoleat dan linolenat (Bukowski, 2024). Keberadaan senyawa-senyawa

tersebut menunjukkan bahwa tepung kedelai tidak hanya berperan sebagai sumber nutrisi, tetapi juga sebagai bahan pakan fungsional yang berpotensi memengaruhi respons fisiologis ikan. Kandungan isoflavon, terutama genistein dan daidzein, memiliki struktur yang menyerupai estrogen sehingga berpotensi berinteraksi dengan reseptor estrogen (Bernatoniene et al., 2021). Interaksi tersebut diduga dapat memengaruhi aktivitas fisiologis hati, termasuk metabolisme lipid dan sintesis vitellogenin, mengingat hati merupakan organ utama yang berperan dalam metabolisme nutrisi sekaligus sintesis prekursor kuning telur pada ikan betina. Hasil penelitian Maulidiyah et al., (2025) menunjukkan ada potensi kenaikan *gonadosomatic index* (GSI) pada ikan lele seiring pasca pemberian tepung kedelai pada pakan. Penggunaan tepung kedelai dalam pakan ikan memiliki potensi manfaat sekaligus risiko yang perlu dikaji secara komprehensif. Di satu sisi, tepung kedelai dapat berperan sebagai bahan pakan fungsional karena kandungan fitoestrogen dan senyawa bioaktifnya yang dilaporkan mampu mendukung biosintesis hormon steroid seksual, proses vitelogenesis, serta aktivitas antioksidan dan hepatoprotektif. Namun, di sisi lain, penggunaan tepung kedelai dalam kadar tinggi juga berpotensi menimbulkan gangguan fisiologis, termasuk gangguan sistem endokrin (Nuzaiba et al., 2022). Hati ikan yang mengalami gangguan nutrisi umumnya menunjukkan perubahan seperti peningkatan vakuolisasi sitoplasma, atrofi inti, disorganisasi susunan korda hepatik, infiltrasi sel inflamasi, perubahan sinusoid, hingga penurunan ukuran inti hepatosit (Donadelli et al., 2024). Perubahan-perubahan ini penting diamati karena sering kali muncul lebih awal dibandingkan dengan perubahan nilai indeks organ, sehingga histologi hati dapat memberikan gambaran yang lebih mendalam mengenai status kesehatan ikan akibat perlakuan pakan. Penelitian mengenai suplementasi tepung kedelai pada ikan lele yang berkaitan dengan sistem reproduksi lebih diarahkan pada parameter GSI dan HSI, sedangkan informasi yang secara spesifik menilai respons jaringan hati secara histologis masih terbatas. Respons hati terhadap suplementasi tepung kedelai diduga sangat dipengaruhi oleh dosis pemberiannya. Parameter histologi hati sangat diperlukan untuk memastikan apakah tepung kedelai benar-benar memberikan efek suportif terhadap fungsi hati atau justru

menimbulkan perubahan degeneratif pada tingkat jaringan.

BAHAN DAN METODE

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah induk ikan lele dengan bobot 1-1,4 kg, tepung kedelai, pellet ikan komersial, bahan perekat berupa CMC (*Carboxymethyl cellulose*), serta larutan dan media yang digunakan pada setiap tahapan proses preparasi jaringan mulai dari fiksasi hingga pewarnaan. Media pemeliharaan induk ikan yaitu kolam beton berukuran 1 x 1,5 m dengan bagian dasar diberi lapisan tanah liat untuk menyesuaikan kondisi kolam dengan media pemeliharaan sebelumnya. Pengamatan histologi hati dilakukan menggunakan mikroskop Olympus inverted ix53 dengan perbesaran 100x, 400x, dan 600x.

Metode penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Mei hingga Oktober 2025. Penelitian disusun menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) yang terdiri atas 3 perlakuan dan 3 ulangan individu untuk pengamatan histologi. Perlakuan yang diberikan meliputi: a) Kontrol (K), tanpa penambahan tepung kedelai pada pakan, b) K5, yaitu penambahan tepung kedelai sebanyak 5% per kg pakan, dan c) K10, yaitu penambahan tepung kedelai sebanyak 10% per kg pakan.

Induk ikan lele dipelihara selama 40 hari dan diberikan pakan sesuai perlakuan, yaitu berupa pellet komersial dengan kandungan protein minimum 38%, lemak minimum 5%, serat kasar maksimum 6%, abu maksimum 12%, dan kadar air maksimum 11%. Tepung kedelai komersial berbahan dasar 100% kedelai digunakan sebagai bahan suplementasi. Pencampuran dilakukan dengan menambahkan CMC sebagai perekat sebanyak 1% per kg pakan, kemudian dicampur dengan tepung kedelai sesuai dosis perlakuan, dihomogenkan, disemprot dengan air secara merata, dan dikeringkan pada suhu ruang selama minimal 24 jam. Frekuensi pemberian pakan sebanyak dua kali sehari secara *ad satiation*.

Parameter utama yang diamati dalam penelitian ini adalah histologi hati. Sampel hati diambil dari 3 ekor ikan yang berbeda pada setiap

perlakuan, kemudian pengamatan dilakukan pada masing-masing sampel. Preparat histologi dibuat menggunakan metode parafin dengan pewarnaan Hematoxylin-Eosin (HE). Sampel organ difiksasi dalam larutan 10% *Neutral Buffered Formalin* (NBF) selama 24 jam, kemudian didehidrasi secara bertahap menggunakan larutan etanol bertingkat (70%, 80%, 85%, dan 100%). Selanjutnya dilakukan proses clearing menggunakan xylene, diikuti proses impregnasi dan embedding dalam parafin pada suhu 60–62°C. Blok parafin kemudian dipotong menggunakan mikrotom dengan ketebalan 3–5 µm, ditempatkan pada gelas objek, dan diwarnai menggunakan Hematoxylin-Eosin (HE). Preparat yang telah diwarnai kemudian ditetesi entellan dan ditutup menggunakan kaca penutup (*cover glass*) sebelum diamati secara mikroskopis. Data hasil pengamatan histologi hati dianalisis secara deskriptif, dengan membandingkan kondisi jaringan hati antarperlakuan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemeriksaan histologi hati digunakan untuk menilai keadaan struktur mikroskopis jaringan hati serta mendeteksi adanya perubahan morfologi sel hepatosit akibat kondisi normal maupun patologis. Hasil pengamatan histologi hati induk betina ikan lele dari ketiga perlakuan menunjukkan adanya perbedaan kondisi jaringan hati antara perlakuan kontrol dan perlakuan pemberian tepung kedelai 5% dan 10%. Jaringan hati pada perlakuan kontrol memiliki susunan hepatosit yang utuh, inti sel bulat, dan sentral. Sinusoid terlihat jelas dan teratur, serta sitoplasma sel relatif homogen dan tidak terdapat banyak ruang kosong yang besar. Batas antara sel terlihat jelas dan tidak terlihat nekrosis atau vakuolisasi yang signifikan. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa struktur parenkim hati pada perlakuan kontrol masih berada dalam kisaran normal, sehingga mencerminkan fungsi fisiologis hati yang relatif stabil. Keutuhan susunan hepatosit dan kejelasan sinusoid juga mengindikasikan bahwa proses sirkulasi darah serta aktivitas metabolik di dalam jaringan hati masih berlangsung dengan baik tanpa adanya tanda gangguan struktural yang berarti. Hasil pengamatan jaringan hati pada perlakuan kontrol disajikan pada Fig 1.

Jaringan hati ikan lele yang diberikan perlakuan tepung kedelai dosis 5% (K5) memiliki perubahan kondisi yang berbeda jika dibandingkan dengan kontrol. Sinusoid tampak melebar atau tidak teratur dan beberapa inti sel terlihat terdorong ke pinggir. Sitoplasma hepatosit banyak yang menunjukkan vakuola, dan vakuolisasi yang tampak jelas diduga

mengindikasikan steatosis (perlemakan hati) atau akumulasi lipid. Infiltrasi sel inflamasi yang masif dan nekrosis luas tidak ditemukan pada jaringan hati. Namun, hepatosit menunjukkan perubahan morfologi berupa vakuolisasi sitoplasma dan perubahan susunan sel. Hasil pengamatan jaringan hati dari perlakuan K5 disajikan pada Fig 2.

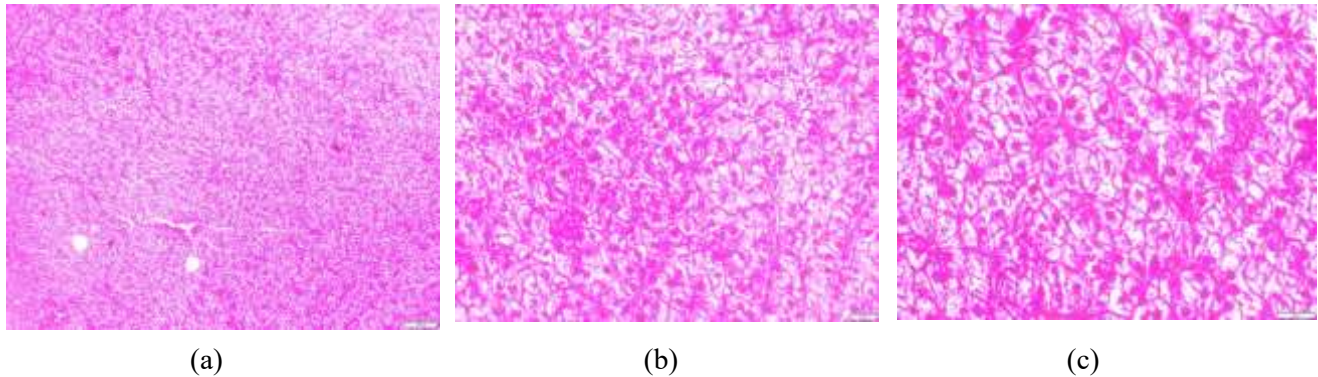


Figure 1. Histology of the liver of the control treatment (K) at magnifications: (a) 100 x; (b) 400x; and (c) 600x

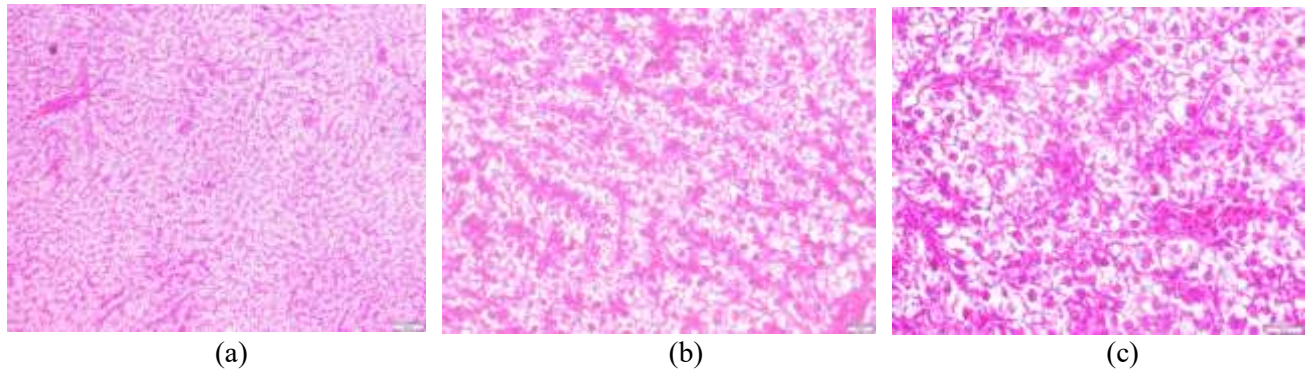


Figure 2. Histology of the liver treated with K5 with magnification of 100 x (a), 400x (b), 600x (c)

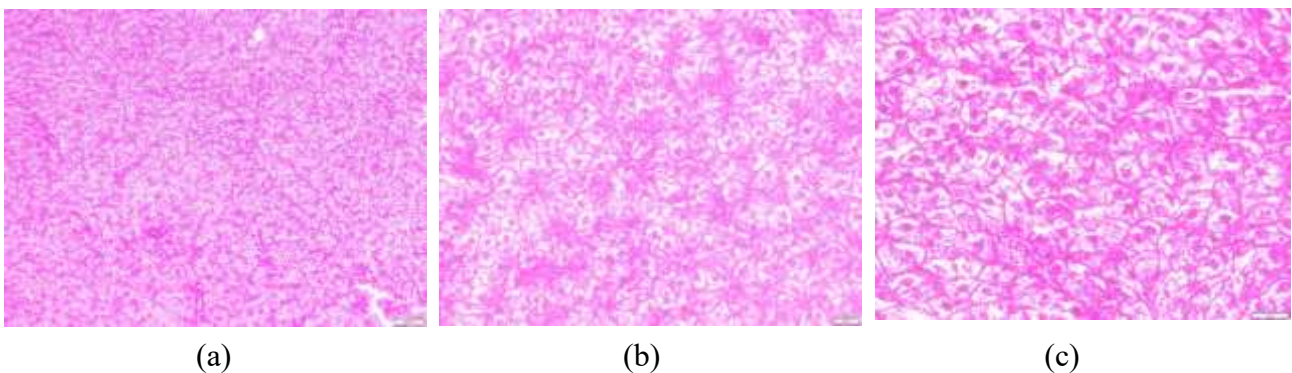


Figure 3. Histology of the liver treated with K10 at magnification of 100x (a), 400x (b), 600x (c)

Sementara itu, jaringan hati ikan lele yang diberikan perlakuan tepung kedelai dosis 10% (K10) juga memiliki perubahan kondisi yang berbeda dengan ikan dari perlakuan kontrol meskipun tidak sebesar perlakuan K5. Hepatosit mulai menunjukkan vakuolisasi yang ditunjukkan dengan terlihatnya vakuola meskipun dalam ukuran kecil. Susunan hepatosit masih cukup teratur dan sinusoid masih terlihat meskipun beberapa tampak tidak seragam. Inti sel sebagian besar masih berada di posisi sentral meskipun kerapatan jaringan mulai mengalami penurunan. Secara umum, perubahan struktur jaringan hati pada perlakuan K10 tidak sebesar perubahan pada perlakuan K5. Hasil pengamatan jaringan hati dari perlakuan K10 disajikan pada Fig 3.

Perbedaan kondisi histologi hati antarperlakuan menunjukkan adanya pengaruh tingkat pemberian tepung kedelai terhadap kesehatan organ hati ikan. Kondisi normal pada perlakuan kontrol menunjukkan bahwa pakan yang diberikan mampu mendukung fungsi fisiologis hati secara optimal. Struktur hepatosit yang teratur serta minimnya vakuolisasi menandakan tidak adanya gangguan metabolisme yang signifikan. Vakuolisasi yang terjadi pada perlakuan tepung kedelai dosis 5% maupun 10% mengindikasikan adanya akumulasi lipid atau glikogen di dalam hepatosit. Kondisi ini umumnya dikategorikan sebagai degenerasi lemak ringan yang masih bersifat reversibel. Namun demikian, penentuan atau konfirmasi secara pasti mengenai komposisi vakuolisasi (yang juga dapat berupa campuran beberapa jenis) umumnya memerlukan penggunaan pewarnaan histologis khusus untuk mendeteksi glikogen atau lipid (Wolf & Wheeler, 2018). Hipertrofi pada hati terjadi bersamaan dengan meningkatnya vakuolisasi secara luas, yang utamanya menunjukkan akumulasi droplet lipid. Tingkat vakuolisasi pada hati cenderung menunjukkan hubungan sigmoid dengan panjang standar larva, yang menunjukkan bahwa vakuolisasi pada hati juga menunjukkan adanya akumulasi cadangan energi secara bertahap (Marthinsen et al., 2025). Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa peningkatan vakuolisasi tidak selalu merefleksikan kerusakan jaringan secara langsung, tetapi juga dapat berkaitan dengan respons adaptif hati dalam menyimpan cadangan energi. Namun, apabila vakuolisasi terjadi secara berlebihan, kondisi ini dapat mengganggu struktur

normal hepatosit dan menurunkan fungsi fisiologis hati (Wolf & Wheeler, 2018)

Peningkatan vakuolisasi hepatosit pada perlakuan tepung kedelai yang berlebihan diduga menunjukkan adanya gangguan metabolisme, khususnya dalam pengelolaan lipid. Vakuolisasi yang lebih besar dan lebih banyak mengindikasikan akumulasi lemak (steatosis), yang sering terjadi akibat ketidakseimbangan nutrisi atau adanya senyawa anti-nutrisi dalam pakan. Tepung kedelai diketahui mengandung senyawa seperti saponin dan protease inhibitor yang dapat mengganggu fungsi pencernaan dan metabolisme ikan (Leeper et al., 2023). Selain itu, pelebaran sinusoid menunjukkan adanya gangguan sirkulasi darah di hati yang dapat memicu stres seluler (Arman, 2021). Hasil penelitian Zhai et al., (2025) Melaporkan bahwa pelebaran sinusoid sering muncul bersama inflamasi hati dan stres oksidatif.

Kerusakan hati yang terjadi berpotensi memiliki implikasi penting terhadap sistem reproduksi ikan. Hati berperan dalam sintesis vitellogenin, yaitu protein prekursor kuning telur yang sangat penting dalam proses pematangan gonad (Nuzaiba et al., 2022; Pousis et al., 2019). Defisiensi vitellogenin (Vtg1) pada induk betina zebrafish menyebabkan indeks gonadosomatik yang lebih rendah, produksi telur yang menurun, jumlah granula kuning telur yang lebih sedikit, serta jumlah folikel matang yang lebih rendah. Selain itu, zebrafish yang kekurangan Vtg1 menunjukkan penurunan tingkat penetasan, tingkat kelangsungan hidup kumulatif, kemampuan berenang, dan asupan pakan, serta peningkatan tingkat malformasi dan keterlambatan perkembangan gelembung renang pada fase embrio dan larva awal (Sun et al., 2023). Gangguan fungsi hati akibat degenerasi hepatosit dapat menghambat produksi vitellogenin sehingga berdampak pada penurunan kualitas dan perkembangan gonad (Liu et al., 2021). Selain itu, hati juga berperan dalam metabolisme hormon steroid, sehingga kerusakan hati dapat mengganggu keseimbangan hormon reproduksi seperti estrogen dan testosteron (Tramunt et al., 2021). Efek samping penggunaan tepung kedelai pada pakan ikan juga dilaporkan pada ikan kerapu. Rendahnya aktivitas enzim antioksidan pada hati kerapu hibrida pearl gentian juga dapat dikaitkan dengan penggunaan tepung kedelai dalam pakan. Pemberian tepung kedelai dalam pakan menurunkan kadar komplemen C3 dan C4 serta

IgM pada kerapu, yang kemungkinan disebabkan oleh menurunnya respons imun hati akibat penambahan tepung kedelai (Pang et al., 2024). Penambahan tepung kedelai pada ikan belanak merah menunjukkan peningkatan aktivitas enzim antioksidan seperti superoksida dismutase (SOD), katalase (CAT), dan peningkatan enzim glutamat oksaloasetat transaminase (GOT) sebagai indikator fungsi atau stress di hati. Peningkatan ini mengindikasikan bahwa hati sedang menetralkan radikal bebas/ROS dan membatasi kerusakan oksidatif pada sel. Pada ikan, peningkatan aktivitas enzim-enzim ini umum ditafsirkan sebagai mekanisme adaptif terhadap stres oksidatif, termasuk pada hati.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pada perlakuan dosis tepung kedelai 5% menunjukkan perubahan struktur hati yang lebih besar dibandingkan dengan dosis tepung kedelai 10% sehingga mengindikasikan adanya respon yang tidak linier terhadap pemberian tepung kedelai pada pakan. Pada dosis tertentu, komponen bioaktif atau zat antinutrisi yang terkandung dalam tepung kedelai diduga dapat memicu respons fisiologis hati yang lebih kompleks, sehingga perubahan histologis justru tampak lebih menonjol pada dosis 5% dibandingkan dosis 10%. Maulidiyah et al. (2025) Juga melaporkan bahwa penambahan suplementasi tepung kedelai pada pakan menyebabkan nilai hepatosomatic index (HIS) pada perlakuan tepung kedelai dengan dosis 5% lebih rendah dibandingkan dengan nilai HIS pada dosis 10%.

Pada ikan, respons biologis terhadap stresor atau komponen pakan bisa bersifat non-monotonik atau bahkan menyerupai hormesis, yaitu dosis rendah-menengah tidak selalu memberi pola semakin tinggi dosis semakin buruk. Jadi, dosis 10% bisa saja memicu respons adaptif yang berbeda dari 5%, terutama bila keduanya masih berada di sekitar ambang toleransi fisiologis ikan. Konsep respons non-linear/hormesis pada hewan akuatik memang diakui dalam literatur toksikologi (Li et al., 2024). Vakuolisasi hati tidak otomatis berarti kerusakan lebih berat. Pada hati ikan, vakuolisasi hepatosit bisa mencerminkan cadangan energi berupa lipid dan/atau glikogen, bukan selalu degenerasi patologis (Wolf & Wheeler, 2018). Vakuolisasi pada hati juga bisa terjadi secara bertahap (Marthinsen et al., 2025) Sehingga bisa diindikasikan bahwa perlakuan tepung kedelai 10%

telah mengalami penurunan vakuolisasi, namun tentunya perlu dilakukan kajian lebih lanjut untuk memastikan kondisi tersebut.

KESIMPULAN

Pemberian tepung kedelai dalam pakan menunjukkan adanya pengaruh terhadap kondisi histologi hati ikan lele. Perubahan jaringan hati yang teramati meliputi vakuolisasi hepatosit, perubahan susunan sel hati, serta pelebaran sinusoid dengan tingkat yang berbeda antarperlakuan. Temuan ini menunjukkan bahwa penggunaan tepung kedelai dalam pakan dapat memicu respons fisiologis pada hati sebagai organ utama metabolisme. Pemberian tepung kedelai berpengaruh terhadap kondisi jaringan hati ikan lele, sehingga penggunaannya dalam formulasi pakan perlu diperhatikan agar tidak menimbulkan gangguan fisiologis yang lebih lanjut. Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengkaji lebih lanjut pengaruh penggunaan tepung kedelai dalam pakan terhadap profil hormon reproduksi, khususnya kadar estrogen dan kadar glukosa, dengan mempertimbangkan variasi dosis dan lama pemberian pakan sehingga dapat diperoleh pemahaman yang lebih komprehensif kaitannya dengan reproduksi induk betina ikan lele.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PSDKU Universitas Brawijaya Kediri atas pendanaan penelitian melalui Hibah PNPB Tahun 2025. Dukungan ini sangat berkontribusi terhadap terlaksananya penelitian dan penyusunan artikel ilmiah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Arman, S. (2021). Effects of acute triclosan exposure on gill and liver tissues of zebrafish (*Danio rerio*). *Annales de Limnologie*, 57(6). <https://doi.org/10.1051/limn/2021004>
- Bernatoniene, J., Kazlauskaitė, J. A., & Kopustinskiene, D. M. (2021). Pleiotropic effects of isoflavones in inflammation and

- chronic degenerative diseases. In *International Journal of Molecular Sciences* (Vol. 22, Number 5656). MDPI. <https://doi.org/10.3390/ijms22115656>
- Donadelli, V., Di Marco, P., Mandich, A., Finoia, M. G., Cardinaletti, G., Petoichi, T., Longobardi, A., Tibaldi, E., & Marino, G. (2024). Effects of dietary plant protein replacement with insect and poultry by-product meals on the liver health and serum metabolites of sea bream (*Sparus aurata*) and sea bass (*Dicentrarchus labrax*). *Animals*, *14*(241), 24. <https://doi.org/10.3390/ani14020241>
- Leeper, A., Sauphar, C., Berlizot, B., Ladurée, G., Koppe, W., Knobloch, S., Skírnisdóttir, S., Björnsdóttir, R., Øverland, M., & Benhaïm, D. (2023). Enhancement of soybean meal alters gut microbiome and influences behavior of farmed atlantic salmon (*Salmo salar*). *Animals*, *13*(2591). <https://doi.org/10.3390/ani13162591>
- Li, J. L., Guo, J. R., Wang, P., Zhang, J. Z., He, Z. G., Wang, J. L., & Hu, Y. (2024). Assessment of the hormesis effect and toxic damage of short-term low-dose aflatoxin B1 in grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*). *Frontiers in Marine Science*, *11*. <https://doi.org/10.3389/fmars.2024.1451204>
- Liu, T., Han, T., Wang, J., Liu, T., Bian, P., Wang, Y., & Cai, X. (2021). Effects of replacing fish meal with soybean meal on growth performance, feed utilization and physiological status of juvenile redlip mullet *Liza haematocheila*. *Aquaculture Reports*, *20*. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100756>
- Marthinsen, J. L., Reitan, K. I., Kjørsvik, E., Bardal, T., Li, K., Nunes, B., Vassbotn, A. M., & Olsen, R. E. (2025). Liver development in atlantic cod (*Gadus morhua* L.) larvae: Histomorphological analysis of biliary ABC transporters and hepatic vacuolization. *Fish Physiology and Biochemistry*, *52*(4), 1–21. <https://doi.org/10.1007/s10695-025-01623-7>
- Maulidiyah, V., Pratiwi, R. K., Nurkhasanah, A. A., Masriah, A., Mazaya, A. F. A., Dhia, M. Y., & Firdaus, F. M. A. (2025). Effectiveness of soybean meal as a feed supplement on gonadal maturation, gonadosomatic index (GSI), hepatosomatic index (HSI), and spawning success of female broodstock catfish. *Nekton*, *5*(2), 177–185. <https://doi.org/10.47767/nekton.v5i2.1066>
- Nuzaiba, P. M., Varghese, T., Gupta, S., Sahu, N. P., & Srivastava, P. P. (2022). Estrogenic and vitellogenic responses in genistein fed adult male *Cyprinus carpio*. *Aquaculture*, *548*, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737559>
- Pang, A., Wang, T., Xie, R., Wang, Z., Xin, Y., Tan, B., & Zhang, W. (2024). Effects of soybean meal on immunity and transcriptomics of liver in pearl gentian grouper (*Epinephelus fuscoguttatus* ♀ × *Epinephelus lanceolatus* ♂). *Aquaculture Reports*, *35*. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2024.101969>
- Pousis, C., Rodríguez, C., De Ruvo, P., De Virgilio, C., Pérez, J. A., Mylonas, C. C., Zupa, R., Passantino, L., Santamaria, N., Valentini, L., & Corriero, A. (2019). Vitellogenin receptor and fatty acid profiles of individual lipid classes of oocytes from wild and captive-reared greater amberjack (*Seriola dumerili*) during the reproductive cycle. *Theriogenology*, *140*, 73–83. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2019.08.014>
- Qin, P., Wang, T., & Luo, Y. (2022). A review on plant-based proteins from soybean: Health benefits and soy product development. *Journal of Agriculture and Food Research*, *7*. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2021.100265>
- Sun, S. X., Liu, Y. C., Limbu, S. M., Li, D. L., Chen, L. Q., Zhang, M. L., Yin, Z., & Du, Z. Y. (2023). Vitellogenin 1 is essential for fish reproduction by transporting DHA-containing phosphatidylcholine from liver to ovary. *Biochimica et Biophysica Acta - Molecular and Cell Biology of Lipids*, *1868*(4). <https://doi.org/10.1016/j.bbali.2023.159289>
- Tan, S. T., Tan, S. S., & Tan, C. X. (2023). Soy protein, bioactive peptides, and isoflavones: A review of their safety and health benefits. In *PharmaNutrition* (Vol. 25). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.phanu.2023.100352>

- Tramunt, B., Montagner, A., Tan, N. S., Gourdy, P., Rémignon, H., & Wahli, W. (2021). Roles of estrogens in the healthy and diseased oviparous vertebrate liver. In *Metabolites* (Vol. 11, Number 502). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/metabo11080502>
- Wolf, J. C., & Wheeler, J. R. (2018). A critical review of histopathological findings associated with endocrine and non-endocrine hepatic toxicity in fish models. In *Aquatic Toxicology* (Vol. 197, pp. 60–78). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2018.01.013>
- Ye, Z., Zhao, T., Wei, Q., Lin, H., Zhang, Y., & Li, S. (2022). Distinct roles of estrogen receptors in the regulation of vitellogenin expression in orange-spotted grouper (*Epinephelus coioides*). *International Journal of Molecular Sciences*, 23(8362). <https://doi.org/10.3390/ijms23158632>
- Zhai, H. F., Tian, Y. N., Sheng, Y. X., Pu, Y. J., Gao, Y. R., Chen, J. Y., Liu, J. Di, Ma, J., Xu, H. M., Yang, P. Bin, & Li, H. M. (2025). Study on hepatotoxicity of benzophenone-3 at environmental concentration in postpartum mice. *Toxics*, 13(1014). <https://doi.org/10.3390/toxics13121014>
- Zhao, Z., Peng, L., Zhao, Q., & Wang, Z. (2024). Genome-wide identification, expression and response to estrogen of vitellogenin gene family in sichuan bream (*Sinibrama taeniatus*). *International Journal of Molecular Sciences*, 25(6379). <https://doi.org/10.3390/ijms25126739>
- Zhao, Z., Zhao, Q., Wang, H., Wei, L., Wang, S., Li, S., Yuan, D., & Wang, Z. (2023). Integrated transcriptomic and metabolomic analyses identify key factors in the vitellogenesis of juvenile sichuan bream (*Sinibrama taeniatus*). *Frontiers in Marine Science*, 10, 1–6. <https://doi.org/10.3389/fmars.2023.124376>