



**NANOTEKNOLOGI DALAM NUTRISI IKAN: TINJAUAN SISTEMATIS
PENGUNAAN SELENIUM NANOPARTIKEL SEBAGAI SUPLEMEN
MIKRONUTRIEN PADA PAKAN**

Nanotechnology in Fish Nutrition: A Systematic Review of the Use of Selenium Nanoparticles as a Micronutrient Supplement in Feed

Nancy Willian^{1*)}, Sri Novalina Amrizal²⁾, Dwi Septiani Putri³⁾, Daniel Sinaga³⁾

¹⁾Program Studi Kimia, Fakultas Teknik dan Teknologi Kemaritiman, Universitas Maritim Raja Ali Haji, Kota Tanjung Pinang, 29125, Indonesia

²⁾Program Studi Teknologi Hasil Perikanan, Fakultas Kelautan dan Perikanan Universitas Maritim Raja Ali Haji, Kota Tanjung Pinang, 29125, Indonesia

³⁾Program Studi Budidaya perikanan, Fakultas Kelautan dan Perikanan Universitas Maritim Raja Ali Haji, Kota Tanjung Pinang, 29125, Indonesia

*Korespondensi : nancywillian@umrah.ac.id
Diterima 24 Maret 2026; Disetujui 27 April 2026

ABSTRACT

Selenium (Se) is an essential micronutrient in fish nutrition, contributing to antioxidant defense, immune regulation, metabolic function, and growth performance. However, conventional selenium sources, including inorganic and organic forms, have limitations related to bioavailability, narrow safety margins, and potential toxicity at excessive doses. Recent advances in nanotechnology have introduced selenium nanoparticles (SeNPs) as a promising alternative feed supplement due to their small particle size, high surface area, and improved biological activity. This systematic review aims to evaluate the role of SeNPs in fish feed and their effects on growth performance, antioxidant status, bioavailability, meat quality, and toxicity risk in aquaculture species. The review was conducted following the PRISMA approach by analyzing peer-reviewed studies published in reputable international databases between 2015 and 2025. The selected studies primarily included in vivo experiments on various farmed fish species. The synthesis shows that low to moderate dietary supplementation of SeNPs improves specific growth rate, feed conversion efficiency, antioxidant enzyme activities, including GPx, SOD, and CAT, and resistance to oxidative stress and pathogen infection. SeNPs also enhance selenium retention in muscle tissue, protein profile, lipid oxidative stability, and polyunsaturated fatty acid preservation. Compared with conventional selenium sources, SeNPs generally demonstrate higher bioavailability. Nevertheless, toxicity symptoms have been reported at excessive doses, emphasizing the need for standardized particle size, dose formulation, and long-term safety evaluation before large-scale commercial application.

Keywords: Aquaculture, Bioavailability, Fish Feed, Immune Response, Micronutrients, Selenium Nanoparticles

ABSTRAK

Selenium (Se) merupakan mikronutrien esensial dalam nutrisi ikan yang berperan dalam pertahanan antioksidan, regulasi sistem imun, fungsi metabolisme, dan peningkatan performa pertumbuhan. Namun, sumber selenium konvensional, baik dalam bentuk anorganik maupun organik, memiliki keterbatasan terkait bioavailabilitas, rentang dosis aman yang sempit, serta potensi toksisitas pada dosis berlebih. Perkembangan nanoteknologi telah memperkenalkan



nanopartikel selenium atau selenium nanoparticles (SeNPs) sebagai alternatif suplemen pakan yang menjanjikan karena ukuran partikelnya yang kecil, luas permukaan yang tinggi, dan aktivitas biologis yang lebih baik. Kajian sistematis ini bertujuan mengevaluasi peran SeNPs dalam pakan ikan serta pengaruhnya terhadap performa pertumbuhan, status antioksidan, bioavailabilitas, kualitas daging, dan risiko toksisitas pada spesies akuakultur. Kajian dilakukan dengan pendekatan PRISMA melalui analisis artikel ilmiah bereputasi yang diterbitkan pada periode 2015–2025. Studi yang dianalisis terutama mencakup penelitian *in vivo* pada berbagai spesies ikan budidaya. Hasil sintesis menunjukkan bahwa suplementasi SeNPs pada dosis rendah hingga sedang meningkatkan laju pertumbuhan spesifik, efisiensi konversi pakan, aktivitas enzim antioksidan seperti GPx, SOD, dan CAT, serta ketahanan terhadap stres oksidatif dan infeksi patogen. Selain itu, SeNPs meningkatkan retensi selenium pada jaringan otot, profil protein, stabilitas oksidatif lipid, dan preservasi asam lemak tak jenuh ganda. Dibandingkan dengan sumber selenium konvensional, SeNPs umumnya menunjukkan bioavailabilitas yang lebih tinggi. Namun, gejala toksisitas dilaporkan pada dosis berlebih, sehingga standarisasi ukuran partikel, formulasi dosis, dan evaluasi keamanan jangka panjang diperlukan sebelum aplikasi komersial skala luas.

Kata kunci: Akuakultur, Ketersediaan Hayati, Mikronutrien, Pakan Ikan, Respon Imun, Selenium Nanopartikel

PENDAHULUAN

Secara global, industri akuakultur khususnya dalam produksi ikan perlu mengkaji pasokan protein berbasis hewan dengan kualitas protein tinggi. Untuk mendapatkan protein berkualitas tinggi, ikan harus memiliki kualitas nutrisi yang menjanjikan nilai gizi yang seimbang. Berbagai penelitian telah dilakukan dalam memastikan kebutuhan nutrisi terhadap pakan ikan, telah banyak dilakukan salah satunya dengan memodifikasi formula pakan ikan untuk menghasilkan ikan dengan kualitas tinggi. Teknologi nano telah berkembang pesat dalam berbagai bidang seperti biomedis (Willian *et al.*, 2021), material kimia (Willian *et al.*, 2022) sampai pada industri akuakultur (Cirrhinus *et al.*, 2024). Hal ini karena nanoteknologi menjanjikan dalam modifikasi permukaan dengan material berukuran nano sehingga lebih mudah diserap dari pada ukuran yang lebih besar (Willian *et al.*, 2020). Teknologi nano dalam akuakultur membuat organisme lebih kebal dan tahan

terhadap penyakit (Ahmad *et al.*, 2024). Ukuran nano dalam nutrisi mineral akan meningkatkan aktivitas permukaan yang tinggi yang pada akhirnya akan mengarah pada efisiensi penyerapan dalam metabolisme tubuh (Ahmad *et al.*, 2024).

Dalam konteks kebutuhan nutrisi pakan, menjadi komponen paling menentukan nutrisi pada ikan dan mempengaruhi pertumbuhan, efisiensi pakan, ketahanan terhadap stress, kesehatan ikan, kelengkapan mikronutrien serta efisiensi ekonomi budidaya. Tantangan lain dari dalam memenuhi kebutuhan nutrisi ikan adalah adanya peran mikronutrien baik dari segi formulasi, peningkatan ketergantungan bahan baku alternatif nabati, fluktuasi mutu bahan pakan, kebutuhan mempertahankan performa biologis sampai mengurangi beban lingkungan. Biaya pakan menyumbang proporsi terbesar dari total biaya produksi sehingga strategi peningkatan nutrisi menjadi tantangan tersendiri.

Diantara komponen nutrisi pakan, mikronutrien menyumbang peran biologis utama dibandingkan protein, lipid dan energi. Selenium (Se) adalah unsur esensial yang penting dalam pembentukan selenoprotein dan enzim redoks termasuk glutathionin peroksidase (Anju *et al.*, 2024), thioredoxin reductase serta enzim yang terikat dengan metabolisme hormon tiroid dan homeostatis selular. Pada ikan, kecukupan selenium berkontribusi terhadap pertumbuhan normal, toleransi terhadap stress oksidatif, integritas jaringan, respon imun bawaan. Selenium berfungsi menjaga keseimbangan antioksidan, menekan pembentukan ROS, mendukung sistem imun dan resistensi terhadap penyakit (Li *et al.*, 2023).

Meskipun demikian, suplementasi selenium dalam bentuk konvensional masih banyak keterbatasan. Secara umum, selenium dalam pakan diberikan dalam bentuk selenium anorganik, seperti selenite atau selenate dan selenium bentuk organik seperti selenomethionin dan selenium yeast (Id *et al.*, 2022). Berdasarkan penelitian dan kajian sebelumnya, bentuk selenomethionin sebagai selenium organik memiliki bioavailabilitas lebih tinggi dan toksisitas lebih rendah dibandingkan bentuk anorganik, tetapi efektivitas biologisnya tetap dipengaruhi oleh spesies ikan, level suplementasi dan parameter respon biologis (Wang *et al.*, 2022).

Bentuk anorganik relatif lebih murah, tetapi lebih sempit dalam batas keamanan dan cenderung kurang efisien dalam pemanfaatan biologis, sebaliknya bentuk organik lebih banyak dalam kasus namun masih menghadapi kendala stabilitas, biaya serta variasi deposisi dan metabolisme antar spesies. Dengan kata lain baik selenium organik maupun anorganik belum sepenuhnya

menyelesaikan problem klasik akuakultur yakni bagaimana menyediakan selenium yang cukup bioavailable, aman efisien dan konsisten pada berbagai kondisi budidaya. Perkembangan nanoteknologi dalam nutrisi ikan atau nanonutrition menawarkan pendekatan baru untuk mengatasi keterbatasan tersebut. Dalam konsep akuafeed, nanopartikel dikaji sebagai penghantar nutrisi yang dapat meningkatkan stabilitas bahan aktif, memperbaiki absorpsi di saluran cerna dan pada akhirnya dapat meningkatkan efisiensi biologis pakan. Dalam konteks mikronutrien selenium, nano selenium (SeNPs) dipandang menjanjikan karena menghubungkan sifat bioaktivitas selenium dengan karakteristik ukuran nano yang memungkinkan pemanfaatan dan absorpsi lebih baik serta potensi toksisitas lebih rendah dibandingkan beberapa bentuk konvensional.

Melalui nanoteknologi, Se dapat diubah menjadi nanopartikel yang lebih mudah dimanfaatkan dan diserap oleh hewan air, namun ini masih menjadi bidang penelitian baru dan berkembang dalam pakan akuakultur (Khalil, *et al.* 2023). Beberapa literatur menjelaskan bahwa selenium bukan hanya sebagai sumber mineral tapi juga sebagai potensi memodulasi pertumbuhan, imunitas, antioksidan dan bahkan berkaitan dengan konsep gen fisiologi ikan.

Beberapa penelitian dalam dekade terakhir melaporkan efek positif selenium (SeNPs) berbagai spesies ikan budidaya. Pada *Sparus aurata* (AbdEl-Kader *et al.*, 2023), suplemen SeNPs meningkatkan bobot akhir, laju pertumbuhan spesifik dan rasio konversi pakan. Pada *Sparidentex hasta*, supplement SeNPs selama 60 hari memperbaiki pertumbuhan dan imun (Abdollahi-Mousavi *et al.*, 2024). Selanjutnya studi pada ikan mas grass carp (Fan *et al.*, 2026) menunjukkan

bahwa SeNPs lebih menonjol dalam performa dibandingkan Selenomethionin dan selenium yeast dengan dosis 0,3 mg/kg sebagai dosis terbaik dalam penelitian ini. Berdasarkan beberapa temuan diatas, performa pertumbuhan ikan, imun dan antioksidan lebih baik dari pada supplement selenium secara konvensional.

Walaupun eksperimen terus berkembang, sejumlah kesenjangan penelitian masih nyata. Pertama hasil yang tersedia masih sangat heterogen karena perbedaan spesies, fase hidup, dosis dan durasi pemberian, metode sintesis, ukuran partikel dan matriks pakan sehingga generalisasi dosis optimum SeNPs belum dapat dilakukan. Kedua, beberapa studi masih fokus pada indikator performa jangka pendek sedangkan data keamanan jangka panjang, bioakumulasi jaringan, ambang batas toksisitas dan implikasi residu bagi keamanan pangan masih terbatas. Ketiga, kajian molekular masih didominasi oleh studi multi-omics, transcriptomics, epigenetics, serta interaksi SeNPs microbiota usus masih belum optimal. Keempat, beberapa ikan yang bernilai ekonomi masih pada kajian jangka pendek masih kurang diteliti. (Wang *et al.*, 2022).

Berdasarkan latar belakang diatas, review sistematis ini bertujuan untuk menganalisis secara kritis bukti ilmiah internasional selama periode 2015-2025 mengenai penggunaan selenium nanopartikel sebagai supplement nutrisi pada ikan, secara khusus telaah ini diarahkan pada (1). Pemetaan perkembangan SeNPs dalam nutrisi ikan, (2). Mengevaluasi pengaruh SeNPs terhadap pertumbuhan, efisiensi pakan, respon imun dan status antioxidant, (3). Mengidentifikasi celah pengetahuan yang perlu menjadi riset berikutnya guna

mendukung formulasi akuafeed yang lebih presisi, aman dan berkelanjutan.

METODE PENELITIAN

Desain review

Kajian ini disusun sebagai systematic review untuk mengidentifikasi, menyeleksi dan mensintesis bukti ilmiah mengenai penggunaan selenium nanopartikel (Selenium nanoparticles, SeNPs) sebagai suplemen mikronutrien dalam pakan ikan dan organisme akuakultur. Proses perancangan, penelusuran, seleksi, ekstraksi dan pelaporan menggunakan metode PRISMA 2020 (i) agar transparansi, reproduibilitas, dan kelengkapan pelaporan agar tetap valid (Page *et al.*, 2021).

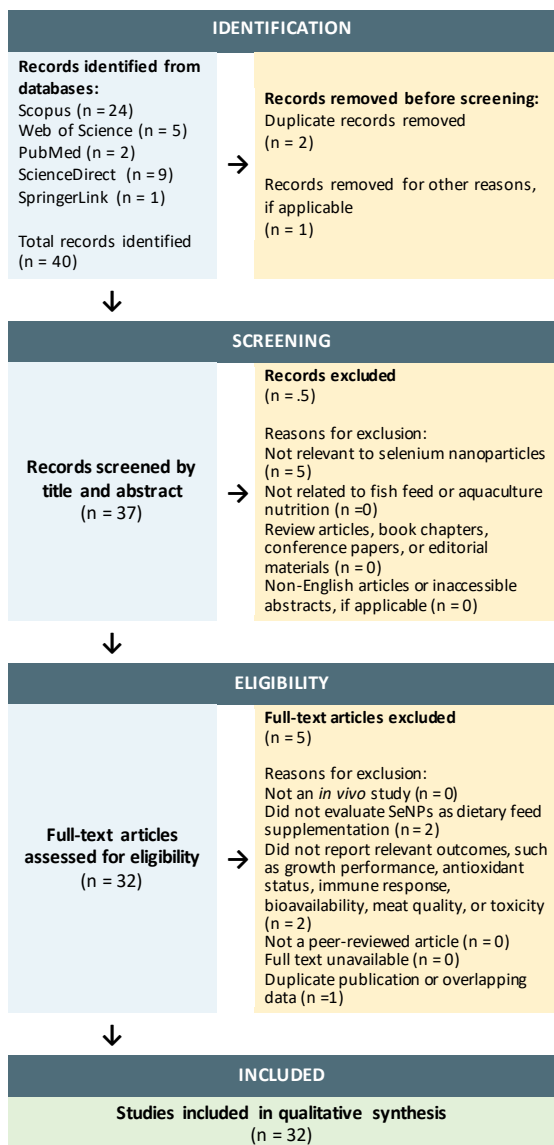
Prosedur

Pencarian literatur dilakukan secara sistematis pada beberapa basis data ilmiah internasional seperti scopus, web of science, Pubmed, scienceDirect dan spingerLink. Seluruh penelusuran dibatasi pada publikasi yang terbit dalam rentang 2015-2025. Beberapa kata kunci dalam penelusuran meliputi: "selenium nanoparticles fish feed", "nanoselenium aquaculture nutrition", "SeNP fish growth performance", dan "nanotechnology aquaculture additive". Kriteria inklusi berupa artikel penelitian, yang membahas SeNPs, pakan efisiensi pertumbuhan, status antioxidant, respon imun. Kriteria eksklusi meliputi artikel non peer reviewed, book chapter, laporan populer, artikel duplicate data base. Proses seleksi menggunakan tahapan PRISMA meliputi identifikasi, skrining, kelayakan, inklusi.

Metode Analisis

Data yang diperoleh dianalisis menggunakan analisis kualitatif komparatif. Pendekatan ini digunakan

karena heterogenitas tinggi dalam spesies ikan, ukuran awal ikan, bentuk sintesis SeNPs, dosis supplement, durasi



pemeliharaan dan parameter respon yang diukur, sehingga meta-analisis kuantitatif tidak dilakukan.

Gambar 1. PRISMA Flow Diagram

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Karakteristik Selenium Nanopartikel

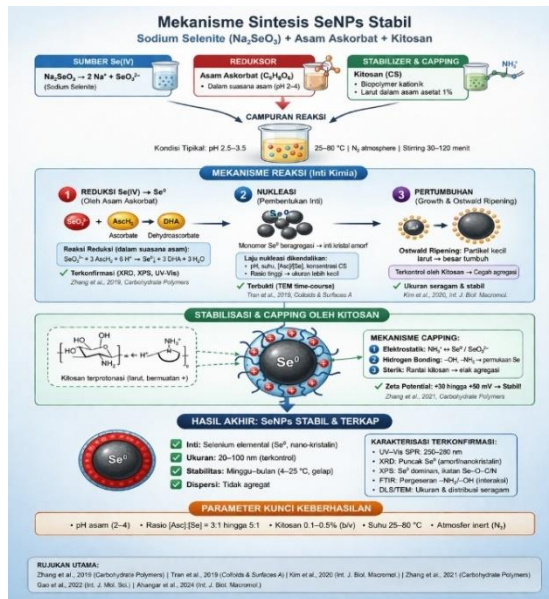
Beberapa penelitian dan studi literatur menunjukkan bahwa efektivitas biologis SeNPs pada ikan sangat dipengaruhi oleh

ukuran partikel, stabilitas dispersi dan bentuk sintesis (Ahmed *et al.*, 2025). Beberapa studi dan review menunjukkan bahwa SeNPs yang digunakan dalam akuakultur umumnya berada pada skala nano puluhan hingga ratusan nanometer, dengan rentang luas permukaan lebih tinggi reaktivitas biologis yang baik serta peluang interaksi yang lebih besar dengan mukosa usus dibandingkan selenium konvensional. Dari beberapa hasil menunjukkan bahwa sistem penstabil seperti chitosan (Apyratina *et al.*, 2022) dan metode green synthesis (Zahran *et al.*, 2024) (Abdelaziz *et al.*, 2025) membantu mempertahankan stabilitas partikel, mencegah agregasi dan meningkatkan performa biologis dalam pakan (Mekky *et al.*, 2025).

Dibandingkan dengan anorganik dan organik, bioavailabilitas SeNPs secara umum dinilai lebih tinggi, sementara toksisitas cenderung rendah dengan efek suplementasi yang tepat. Review komparatif tentang bentuk selenium pada pakan ikan menyebutkan bahwa nano-Se merupakan sumber selenium baru yang menjanjikan karena memberikan bioavailabilitas yang tinggi dengan risiko toksisitas yang lebih rendah dibandingkan beberapa bentuk konvensional. Mekanisme ini berkaitan dengan ukuran partikel yang kecil, penetrasi lapisan mucus intestinal serta pelepasan selenium yang lebih bertahap dalam selenoprotein (Wang *et al.*, 2022).

Jika ditinjau dari mekanisme penyerapan, bukti menunjukkan bahwa SeNPs kemungkinan diserap melalui epitel usus lebih efisien dari pada selenium anorganik, lalu dimanfaatkan untuk mendukung pembentukan selenoprotein antioksidan seperti GPx. Hal ini menunjukkan karakteristik ukuran nano bukan hanya aspek formulasi, tetapi menjadi dasar utama SeNPs sering

menunjukkan respon biologis lebih baik dari selenium bentuk lain (Wakeel *et al.*, 2024).



Gambar 2. Nanoselenium mekanisme sintesis

2. Pengaruh Selenium Nanopartikel terhadap pertumbuhan dan efisiensi pakan

Dalam satu dekade terakhir, penggunaan selenium nanopartikel (SeNPs) dalam nutrisi ikan menunjukkan tren peningkatan signifikan seiring berkembangnya konsep nano-nutrition dalam bidang akuakultur. Sejumlah penelitian melaporkan SeNPs memiliki kemampuan untuk meningkatkan performa pertumbuhan dan efisiensi pemanfaatan pakan secara lebih efektif dibandingkan bentuk konvensional, meskipun respons bersifat spesifik terhadap spesies dan dosis (Zuberi *et al.*, 2016)(El-kader *et al.*, 2020).

Pada spesies laut seperti sparus aurota, suplementasi SeNPs terbukti meningkatkan bobot akhir, pertambahan bobot, laju pertumbuhan spesifik (*specific growth rate*, SGR) serta memperbaiki rasio konversi pakan (*feed conversion ratio*, FCR) Selain itu, peningkatan signifikan

diamati pada respon imun dan tingkat kelangsungan hidup ikan yang dipapar stress salinitas rendah dan inveksi *Vibrio parahaemolyticus*. Dalam studi tersebut 0,5 mg/kg pakan diidentifikasi sebagai tingkat paling efektif dalam mengoptimalkan performa pertumbuhan dan status Kesehatan ikan (AbdEl-Kader *et al.*, 2023). Sehingga SeNPs tidak saja berperan sebagai miktonutrien tetapi juga sebagai agen protektif terhadap stress lingkungan dan pathogen.

Pada spesies lain, seperti spaidentex hasta, suplement SeNPs selama periode pemeliharaan 60 hari menunjukkan peningkatan signifikan pada parameter pertumbuhan, konsumsi pakan serta efisiensi pakan. Studi oleh Abdollah-Mousavi *et.al* (2024) juga melaporkan bahwa SeNPs mampu meningkatkan kapasitas antioksidan dan respon imun, meskipun nilai optimal dosis bervariasi tergantung pada parameter yang diamati. Temuan ini mengindikasikan bahwa efek biologis SeNPs bersifat multifactorial dan dipengaruhi oleh interkasi antar dosis, durasi pemberian dan kondisi fisiologis ikan (Abdollahi-Mousavi *et al.*, 2024).

Pada ikan air tawar, seperti catla catla, suplementasi SeNPs dalam pakan berbasis subflower meal menunjukkan peningkatan signifikan pada pertumbuhan, pencernaan nutrient, serta absorpsi mineral. Ahmad *et.al*, 2024 melaporkan bahwa dosis 1,5 mg/kg pakan merupakan optimal yang menghasilkan peningkatan weight gain, SGR serta pencernaan protein, serat dan energi. Selain itu peningkatan absorpsi mineral penting seperti kalsium, pospor dan seng dan menunjukkan bahwa SeNPs berperan dalam meningkatkan efisiensi metabolisme nitrien secara keseluruhan(Ahmad *et al.*, 2024).

Keunggulan SeNPs dibandingkan selenium konvensional juga terlihat jelas pada studi komparatif yang dilakukan pada

grass carp (*Ctenopharyngodon Idella*). (Zhu *et al.*, 2024) menunjukkan bahwa SeNPs memiliki efektivitas yang lebih tinggi dibandingkan sodium selenite dan selenomethionine dalam meningkatkan pertumbuhan, kapasitas antioksidan serta kualitas daging ikan. Dosis yang optimal dalam penelitian ini adalah 0,3 mg/ kg pakan, yang menghasilkan peningkatan signifikan pada aktivitas antioksidan seperti glutathione peroxidase (GPx) dan superoxide dismutase (SOD). Temuan ini memperkuat hipotesis bahwa SeNPs memiliki bioavailabilitas yang lebih tinggi dan efisiensi biologis yang lebih baik dibandingkan bentuk selenium lain.

Secara umum, peningkatan performa pertumbuhan dan efisiensi pakan yang diamati pada berbagai spesies ikan tersebut berkaitan erat dengan peranan selenium dalam system antioksidan. Selenium merupakan komponen utama enzim seperti GPx yang berfungsi dalam menetralkan radikal bebas dan melindungi dari ROS (Dawood *et al.*, 2021). Dalam bentuk nanopartikel, selenium memiliki luas permukaan yang lebih besar, sehingga meningkatkan kelarutan, stabilitas, ketersediaan hayati (bioavailability) dalam tubuh ikan. Hal ini memungkinkan penyerapan dan pemanfaatan selenium yang lebih efisien pada tingkat selular,

Namun demikian, pada beberapa penelitian sebelumnya bahwa respon SeNPs tidak selalu linear terhadap peningkatan dosis. Beberapa studi menunjukkan bahwa dosis yang terlalu tinggi dapat menyebabkan efek toksik atau tidak memberikan manfaat signifikan (Li *et al.*, 2023). Oleh karena itu, penentuan dosis optimal menjadi aspek krusial dalam aplikasi SeNPs pada nutrisi ikan. Secara umum, beberapa penelitian sebelumnya menegaskan bahwa selenium nanopartikel memiliki potensi besar

sebagai suplemen mikronutrien dalam pakan ikan, dan status fisiologis. Namun efektivitas tetap dipengaruhi oleh faktor spesies, dosis, serta kondisi lingkungan budidaya, sehingga diperlukan pendekatan yang lebih spesifik dan terstandarisasi dalam aplikasinya.



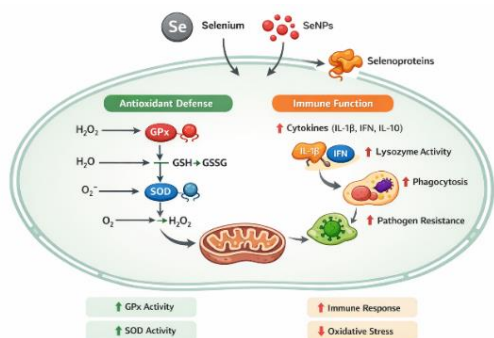
Gambar 3. Integrasi SeNPs dalam formulasi pakan

3. Pengaruh terhadap sistem antioksidan

Kemampuan SeNPs dalam memperkuat sistem antioksidan ikan, terutama melalui peningkatan aktivitas GPx, SOD, CAT, serta penurunan indikator stress oksidatif seperti MDA (malondialdehyde). (Dawood *et al.*, 2021) dalam tulisannya menjelaskan bahwa SeNPs secara langsung dikaitkan dengan peningkatan aktivitas enzim antioksidan pada hewan akuatik, sementara beberapa studi pada ikan secara spesifik menunjukkan SOD dan GPx pada level suplementasi rendah hingga sedang (Li *et al.*, 2023).

Pada Grass carp (Zhu *et al.*, 2024), supplement nano-Se, meningkatkan kapastaras antioksidan dan menurunkan MDA. Nano-Se dengan kandungan 0,6 mg/kg terbukti mengurangi kerusakan usus dengan memperbaiki fungsi usus, menurunkan inflamasi dan mengurangi stress oksidatif. Pada Nile tilapia, studi green synthesis SeNPs menunjukkan peningkatan anti oksidan tanpa memicu

stress oksidatif tambahan. Pada Sparidentiax hasta atau sobaity juveniles, suplementasi 2mg/kg direkomendasikan dalam perbaikan pertumbuhan sekaligus parameter antioksidan dan imun, Dalam temuan ini memperlihatkan efek antioksidan SeNPs dapat muncul baik pada kondisi budidaya normal maupun pada kondisi stres.(Wang *et al.*, 2022).



Gambar 4. Mekanisme selenium sebagai agen antioksidan

Dengan demikian, manfaat SeNPs terhadap status redoks tidak hanya penting bagi kesehatan jaringan, tetapi juga relevan secara produktif. Ikan dengan status antioksidan yang lebih cenderung menunjukkan pertumbuhan lebih stabil (Id *et al.*, 2022), ketahanan lebih tinggi terhadap salinitas, suhu, mikotoksin dan infeksi yang semua merupakan stressor umum dalam akuakultur intensif (AbdEl-Kader *et al.*, 2023).

Pada nile tilapia (Hasan *et al.*, 2025), SeNPs disintesis secara biologis dilaporkan memperbaiki pertumbuhan dan respon imun, sedangkan studi lain menunjukkan bahwa SeNPs mampu menurunkan dampak immunosupresif aflatoksin dan meningkatkan perlindungan terhadap infeksi streptococcus agalactiae (Moges *et al.*, 2022; Wakeel *et al.*, 2024). Pada seabream dan huso huso juvenile (A *et al.*, 2025). SeNPs memperbaiki performa imun saat ikan menghadapi stress salinitas rendah dan tantangan *Vibrio parahaemolyticus*.

Secara konsisten, hasil ini mendukung peran SeNPs sebagai imunonutrien dalam akuafeed fungsional. Selain itu aktivitas antioksidan tidak selalu bergantung hanya pada ukuran partikel tetapi juga homogenitas (Sentkowska, 2022)

4. Pengaruh terhadap sistem imun ikan

Selenium nanopartikel yang menonjolkan pada efektifitas serapan molekul dengan ukuran partikel seragam dan lebih kecil berkontribusi positif terhadap imunitas bawaan ikan, termasuk peningkatan lysozyme activity, phagocytic activity, dan resistensi terhadap pathogen. (Abdollahi-Mousavi *et al.*, 2024).

5. Pengaruh terhadap digestibilitas dan penyerapan nutrient

Kajian berikutnya adalah pengaruh SeNPs terhadap digestibilitas dan penyerapan nutrient. Hal ini penting karena dengan komposisi dan dosis tertentu akan meningkatkan digestibilitas nutrient dan absorpsi mineral penting seperti K, P, Ca, Na, Zn, Cu dan Fe bersamaan dengan perbaikan pertumbuhan. Beberapa temuan memperlihatkan bahwa SeNPS tidak hanya sebagai suplement nutrient tetapi juga meningkatkan efisiensi pemanfaatan keseluruhan diet, terutama formulasi bahan baku nabati yang sulit dicerna (Ahmad *et al.*, 2024). Secara komprehensif aspek digestibilitas menjelaskan hasil konsisten pada perbaikan kesehatan dan fungsi usus. hal ini menjelaskan bahwa kebutuhan pakan per unit biomassa dapat ditekan dan limbah nutrient ke lingkungan berpotensi berkurang.

6. Dosis optimal selenium nanopartikel pada pakan

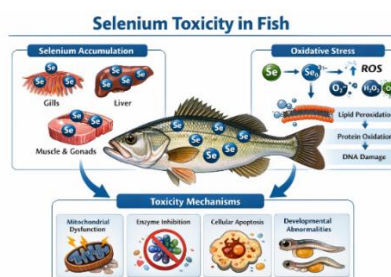
Penelitian terkait selenium nanopartikel telah berkembang dengan pesat dalam

beberapa dekade terakhir. Kajian dalam optimasi dosis yang tepat pada pakan masih menjadi topik yang heterogen. Secara umum, tren dosis yang paling sering diujikan berapa pada kisaran 0,5 mg/kg – 2,0 mg/kg pakan, meskipun ada studi yang mengeskploitasi level lebih rendah pada udang atau lebih tinggi pada desain khusus seperti diet atau pada kondisi salinitas stress tinggi, tapi beberapa tуди menunjukkan titik optimum yang relatif konsisten disekitar 1,0 mg/kg pakan untuk ikan nila, common carps, red sea bream. Sedangkan pada catla catla dosis optimum yang dilaporkan lebih tinggi yaitu 1,5 mg/kg. dan pada sobaitu seabream respon terbaik dilaporkan adalah 2,0 mg/kg. Hal ini menunjukkan bahwa rekomendasi dosis SeNPs masih spesifik terhadap spesies, koneksi budidaya dan tujuan biologis yang diukur (tabel 1).

Parameter biologis yang paling sering diamati adalah pertumbuhan dan efisiensi pakan. Selanjutnya mengamati aktivitas antioksidan seperti GPx, SOD, dan CAT serta parameter imunitas bawaan seperti lysozyme, fagositas, imun resistenre terhadap pathogen dan stress lingkungan. Tabel 1 memeprihatkan perbandingan riset selenium.

7. Risiko toksisitas dan aspek keamanan

Beberapa mayoritas studi melaporkan bahwa efek menguntungkan pada dosis rendah sampai sedang, risiko toksisitas SeNPs tetap menjadi isu penting dan masih menjadi perhatian oleh peneliti. Selenium memiliki jendela nutrisi yang sempit. Kekurangan menurunkan pertumbuhan dan kapasitas antioksidan, tetapi kelebihan dapat memicu gangguan fisiologis, penurunan konsumsi pakan, kerusakan jaringan hingga mortalitas. Review toksisitas selenium menegaskan bahwa bentuk, dosis, rute paparan dan spesies sangat menentukan respon toksik pada ikan. Stripped catfish melaporkan kadar diatas 2,5 mg/kg pakan dikaitkan dengan toksisitas.



Gambar 5. Efek toksisitas Selenium pada ikan

Tabel 1. Selenium Nanopartikel pada beberapa organisme

No	Spesies Ikan / Organisme Akuakultur	Ukuran atau Jenis Selenium Nanopartikel	Dosis SeNPs dalam Pakan (mg/kg)	Parameter yang Diamati	Referensi
1	Common carp (<i>Cyprinus carpio</i>)	Dietary nano-Se; ukuran tidak dirinci pada abstrak tersedia	0, 0.5, 1, 2	WG, SGR, FCR, komposisi otot, status antioksidan, profil biokimia darah	Aquaculture 446:25–29. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2015.04.021

2	Mahseer (<i>Tor putitora</i>)	Dietary SeNPs; ukuran tidak dirinci	NR pada abstrak yang terakses	Aspek fisiologis dan biokimia	Turkish Journal of Zoology 40:704–712. DOI: 10.3906/zoo-1510-5
3	Common carp (<i>Cyprinus carpio</i>)	Nano-Se vs SeMet vs Na ₂ SeO ₃	0.7 (untuk masing-masing sumber Se)	Pertumbuhan, komposisi otot, enzim darah, status antioksidan	Aquaculture Nutrition 23:611–617. DOI: 10.1111/anu.12428
4	Mahseer (<i>Tor putitora</i>)	Nano-Se + vitamin C	Formulasi kombinasi; level detail tidak lengkap pada abstrak yang terakses	Pertumbuhan, feeding, parameter fisiologis	Aquaculture Reports 5:70–75. DOI: 10.1016/j.aqrep.2017.01.002
5	Gilthead seabream (<i>Sparus aurata</i>) juvenil/awal weaning	Nanoparticles of Se, Zn, Mn dalam diet early weaning	NR	Pertumbuhan awal dan performa nutrisi pada weaning	Aquaculture Research 48:2852–2867. DOI: 10.1111/are.13119
6	<i>Pangasius hypophthalmus</i>	Dietary SeNPs	NR	Toleransi termal, proteksi stres seluler	Respiratory Physiology & Neurobiology 246:107–116. DOI: 10.1016/j.resp.2017.09.006
7	<i>Pangasiano don hypophthalmus</i>	Biologically synthesized SeNPs	NR	Imunitas, proteksi terhadap multi-stresor	Fish & Shellfish Immunology 78:289–298. DOI: 10.1016/j.fsi.2018.04.051
8	Common carp (<i>Cyprinus carpio</i>)	Organic, inorganic, and nanoparticulate Se	0.7	Pertumbuhan, hematoimunologi, biokimia serum	Fish Physiology and Biochemistry 44:1087–1097. DOI: 10.1007/s10695-018-0496-y
9	Red sea bream (<i>Pagrus major</i>)	Dietary SeNPs	0, 0.5, 1, 2	Pertumbuhan, feed efficiency, bioakumulasi Se, status antioksidan	Environmental Science and Pollution Research 26:30876–30884. DOI: 10.1007/s11356-019-06223-6
10	Red sea bream (<i>Pagrus major</i>)	Dietary SeNPs	0, 0.5, 1, 2	Imunitas sistemik dan mukosal,	Fish Physiology and Biochemistry 45:219–230. DOI:

				ketahanan stres	10.1007/s10695-018-0556-3
11	Asian seabass (<i>Lates calcarifer</i>)	MgNPs + SeNPs (kombinasi atau individual)	Kombinasi; detail level tidak lengkap pada abstrak yang terakses	Pertumbuhan, imun, biokimia darah, status antioksidan	Aquaculture Nutrition 25:1422–1430. DOI: 10.1111/anu.12962
12	Rohu (<i>Labeo rohita</i>)	ZnO NPs + SeNPs	Kombinasi; detail level tidak lengkap pada abstrak yang terakses	Pertumbuhan, respons imun, aktivitas enzim	Aquaculture Nutrition 25:486–494. DOI: 10.1111/anu.12874
13	Rainbow trout (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	Nano-Se + vitamin E/curcumin dengan perbandingan sumber Se	Kombinasi; level nano-Se tidak lengkap pada abstrak yang terakses	Pertumbuhan, komposisi tubuh, respons imun, GPx	Fish Physiology and Biochemistry 45:793–804. DOI: 10.1007/s10695-018-0585-y
14	European seabass (<i>Dicentrarchus labrax</i>)	SeNPs, strategi frekuensi pemberian	1 mg/kg; harian / selang 1 hari / selang 2 hari	Pertumbuhan, feed efficiency, status kesehatan	Aquaculture Reports 18:100539. DOI: 10.1016/j.aqrep.2020.100539
15	Nile tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>)	SeNPs + Spirulina	Kombinasi; detail level tidak lengkap pada abstrak yang terakses	Pertumbuhan, hematobiokimia, gen imun, heat shock protein	Biological Trace Element Research 198:661–668. DOI: 10.1007/s12011-020-02096-w
16	<i>Pangasiodon hypophthalmus</i>	SeNPs + riboflavin	Kombinasi; detail level tidak lengkap pada abstrak yang terakses	Mitigasi arsenik dan stres suhu, status fisiologis	Scientific Reports 10:17883. DOI: 10.1038/s41598-020-74911-2

17	European seabass (<i>Dicentrarchus labrax</i>)	Dietary SeNPs	0, 0.25, 0.5, 1	Pertumbuhan, hemato-biokimia, antioksidan, gen terkait imun	Biological Trace Element Research 199:3126–3134. DOI: 10.1007/s12011-020-02431-1
18	Goldfish (<i>Carassius auratus</i>)	SeNPs vs selenomethionine	0.9 (nSe dan SeMet)	Pertumbuhan, enzim hati, imun mukosal, histologi hati, gen nafsu makan	Fish Physiology and Biochemistry 47:639–652. DOI: 10.1007/s10695-021-00937-6
19	Nile tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>)	Dietary SeNPs	NR	Respons imun, proteksi terhadap toksisitas Cd	Aquaculture Research 52 (2021). DOI: 10.1111/are.15212
20	Nile tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>)	SeNPs + ZnO NPs	Kombinasi; detail level tidak lengkap pada abstrak yang terakses	Pertumbuhan, hematobiokimia, imun, stres oksidatif, morfometri usus	Biological Trace Element Research 199 (2021). DOI: 10.1007/s12011-021-02631-3
21	Grass carp (<i>Ctenopharyngodon idella</i>)	Dietary nano-Se pada diet tinggi lemak	NR	Cedera hepatopankreas, deposisi lipid, survival	Aquaculture 538:736580. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2021.736580
22	Nile tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>)	Dietary SeNPs	0, 0.5, 1, 2	Pertumbuhan, kualitas nutrisi daging	Aquaculture Reports / PMC article, 2022. PMID/PMCID: PMC9162325
23	Pacific whiteleg shrimp (<i>Penaeus vannamei</i>)	Dietary SeNPs	0, 0.2, 0.4, 0.8, 1.2	Pertumbuhan, survival, antioksidan, transkripsi gen imun	Aquaculture Reports 24:101115. DOI: 10.1016/j.aqrep.2022.101115
24	Whiteleg shrimp (<i>Litopenaeus vannamei</i>)	Spirulina-fabricated SeNPs	0.50 direkomen dasikan	Pertumbuhan, enzim pencernaan, antioksidan, mitigasi toksisitas Cd	Catalysts 13:1389. DOI: 10.3390/catal13111389
25	Seabream (<i>Sparus aurata</i>)	Dietary SeNPs	NR; studi menilai suplementasi di bawah stres salinitas rendah	Pertumbuhan, parameter fisiologis, antioksidan, imun, tantangan Vibrio	Aquaculture 576:739893. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2023.739893

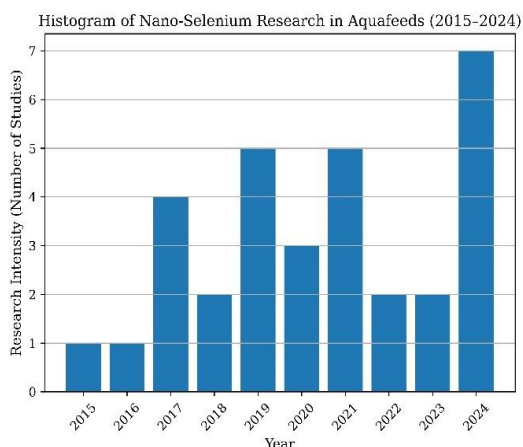
No	Spesies	Dosis SeNPs dalam pakan	Dosis tertinggi diuji	Indikator toksisitas/keamanan	Efek negatif/toksik yang dilaporkan
					parahaemolyticus
26	Nile tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>)	Nano-Se	hingga 1.0	Pertumbuhan, enzim pencernaan, imun, histopatologi	Aquaculture International 32:1587–1607. DOI: 10.1007/s10499-023-01230-4
27	Asian seabass (<i>Lates calcarifer</i>)	Dietary SeNPs	0, 0.5, 1, 2, 4	Pertumbuhan, enzim pencernaan, status kesehatan pada air salin tinggi	Aquaculture Nutrition 2024:7480824. DOI: 10.1155/2024/7480824
28	Sobaity seabream (<i>Sparidentex hasta</i>)	Dietary nano-Se	0, 0.5, 1, 2	Pertumbuhan, FCR, antioksidan, imun, ekspresi gen, resistensi stres	Aquaculture International / PubMed 38360194 (2024). DOI: 10.1007/s10499-024-01430-6
29	Arabian yellowfin seabream (<i>Acanthopagrus arabicus</i>)	Dietary SeNPs	0, 0.5, 1, 2	Pertumbuhan, imun, antioksidan, ekspresi gen, stress recovery	Aquaculture Reports 36:102051. DOI: 10.1016/j.aqrep.2024.102051
30	Nile tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>)	Biogenic/green SeNPs	NR pada abstrak yang terakses	Pertumbuhan, imun innate, antioksidan, inflamasi	Scientific Reports 14 (2024). DOI: 10.1038/s41598-024-72022-w
31	Catla catla	Dietary SeNPs pada diet berbasis sunflower meal	0, 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3	Pertumbuhan, digestibilitas, absorpsi mineral	BMC Veterinary Research 20:438. DOI: 10.1186/s12917-024-04291-6
32	Common carp (<i>Cyprinus carpio</i>)	Nutritional nano-Se pada diet plant-based tanpa fishmeal	3	Resistensi stres dan pemulihan pascastres	Aquaculture Reports 38:102298. DOI: 10.1016/j.aqrep.2024.102298

Tabel 2. Ringkasan kuantitatif mengenai dosis SeNPs, parameter keamanan, dan indikator toksisitas pada ikan serta organisme akuakultur

No	Spesies	Dosis SeNPs dalam pakan	Dosis tertinggi diuji	Indikator toksisitas/keamanan	Efek negatif/toksik yang dilaporkan
----	---------	-------------------------	-----------------------	-------------------------------	-------------------------------------

1	Common carp	0, 0.5, 1, 2 mg/kg	2 mg/kg	WG, SGR, FCR, antioksidan, biokimia darah	Tidak dijelaskan dalam tabel awal
9	Red sea bream	0, 0.5, 1, 2 mg/kg	2 mg/kg	Bioakumulasi antioksidan, efficiency	Se, feed Perlu dicatat apakah ada efek negatif pada dosis 2 mg/kg
18	Goldfish	0.9 mg/kg	0.9 mg/kg	Histologi hati, enzim hati, imun mukosal	Perlu dirinci apakah ada lesi/kerusakan hati
23	Pacific whiteleg shrimp	0, 0.2, 0.4, 0.8, 1.2 mg/kg	1.2 mg/kg	Survival, antioksidan, gen imun	Perlu dicatat apakah survival menurun pada dosis tinggi
26	Nile tilapia	hingga 1.0 mg/kg	1.0 mg/kg	Histopatologi, enzim pencernaan	Perlu dijelaskan hasil histopatologi
27	Asian seabass	0, 0.5, 1, 2, 4 mg/kg	4 mg/kg	Pertumbuhan, pencernaan, kesehatan	enzim status Perlu dicatat apakah 4 mg/kg memberi efek negatif
31	Catla catla	0, 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3 mg/kg	3 mg/kg	Pertumbuhan, digestibilitas, mineral	absorpsi Perlu dicek apakah 2.5–3 mg/kg menurunkan performa
32	Common carp	3 mg/kg	3 mg/kg	Resistensi stres dan pemulihan pascastres	Perlu dicatat ada/tidaknya efek negatif

Berdasarkan tabel diatas, perkembangan penggunaan selenium dalam nutrisi pakan berkembang dengan pesat, baik menggunakan selenium konvensional ataupun menggunakan konsep nanoteknologi. Secara umum, intensitas riset menunjukkan kenaikan setelah 2017, lalu menguat lagi pada 2019–2021, dan mencapai puncak pada 2024



Gambar 5. Histogram perkembangan riset Selenium dalam pakan ikan

KESIMPULAN

Sintesis literatur internasional selama 2015-2025 menunjukkan bahwa selenium nanoparticles (SeNPs) merupakan bentuk suplemen selenium yang semakin menjanjikan dalam nutrisi ikan. Secara umum studi-studi ekperimental pada berbagai budidaya memperlihatkan bahwa SeNPs berkolareasi dengan peningkatan performa pertumbuhan, efisiensi pemanfaatan pakan dan kapasistas antioksidan serta respon imun, Walaupun besarnya respon imun tergantung pada spesies, dosis, lama pemeliharaan dan karakterisasi partikel. Dibandingkan selenium konvensional, baik bentuk anorganik maupun organik, nanoselenium memiliki keunggulan utama berupa bioavailabilitas yang lebih tinggi, fungsi biologis yang lebih cepat dan pada dosis yang seting menunjukkan margin

efektivitas yang lebih baik dalam mendukung pertumbuhan, antioksidan, dan imun. Oleh karena itu SeNPs berpotensi sebagai komponen fungsional feeds dalam meningkatkan efisiensi produksi yang didukung formulasi yang tepat dan presisi.

FUTURE PROSPECTIVE

Arah penelitian masa depan yang menjanjikan adalah pengemabnagan nanoselenium berbasis green synthesis menggunakan ekstrak tumbuhan mikroalga. Jamur atau bakteri. Pendekatan ini semakin menarik karena menghasilkan SeNPs dengan stabilitas yang lebih baik, potensi toksisitas lebih rendah dan proses produksi yang lebih ramah lingkungan dibandingkan sintesis kimia secara konvensional. Dalam sisi nutrisi terapan, prioritas utama tetap pada penetapan dosis optimum dan aman untuk berbagai sepsis budidaya. Berdasarkan hasil review siasat, selenium nano bekerja secara dose-specific, dengan level efektif yang berbeda antar spesies dan antar kondisi budidaya. Arah pengembangan selanjutnya adalah perluasan studi nutrigenomic, transcriptomics dan regulasi gen. Dalam kerangka ini SeNPs memiliki potensi besar dalam mendukung akuakultur berkelanjutan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih kepada Universitas Maritim Raja Ali Haji atas pendanaan penelitian dan tim penelitian pakan

DAFTAR PUSTAKA

A, H. Z., Sohrabi, T., H, S. H. M., Adineh, H., Shokri, M., & Mirnabibaboli, S. S. (2025). Effect of an encapsulated blend

of nano-selenium and vitamins C and E on growth performance, blood, immunity, and oxidative indices in *Huso huso*. 24(4), 1015–1040.

AbdEl-Kader, M. F., El-Kassas, S., Abd-Elghany, M. F., Abo-Al-Ela, H. G., El-Naggar, K., Al Wakeel, R. A., Zaki, A. G., Grana, Y. S., & El-Saftawy, H. A. M. (2023). Dietary selenium nanoparticles positively modulate the growth and immunity of seabream (*Sparus aurata*) fingerlings exposed to low salinity stress and *Vibrio parahaemolyticus* challenge. *Aquaculture*, 576, 739893. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.739893>

Abdelaziz, H. T. O., Mohamed, E. M. S., Younis, S. K. A., Ahmed, N., Michael, M. N., Abu-hussien, S. H., Bakry, A., Ebeed, N. M., Nasser, M. A., & El-nasr, M. K. A. (2025). Selenium nanoparticle loaded on PVA / chitosan biofilm synthesized from orange peels : antimicrobial and antioxidant properties for plum preservation.

Abdollahi-Mousavi, S. E., Keyvanshokoh, S., Torfi Mozanzadeh, M., & Ghasemi, A. (2024). Efficacy of nutritional selenium nanoparticles on growth performance, immune response, antioxidant capacity, expression of growth and immune-related genes, and post-stress recovery in juvenile Sobaity seabream (*Sparidentex hasta*). *Fish & Shellfish Immunology*, 147, 109452. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fsi.2024.109452>

Ahmad, N., Hussain, S. M., Ali, S., Tahir, M. F., & Sarker, P. K. (2024). Nano-selenium supplementation: improving growth, digestibility and mineral absorption in freshwater fish, *Catla catla*.

Ahmed, I., Abu, M., Siddique, B., Hasan, S. J., & Haque, M. M. (2025). Exploring the Impact of Selenium Nanoparticles

- on Growth and Gonadal Development in Asian Seabass (*Lates calcarifer*): A Systematic Review and Meta-Analysis. 1–18.
- Anju, T. R., George, M., & Jose, R. M. (2024). Inorganic Nanomaterial Coating to Prevent Biofouling. In *Novel Anti-Corrosion and Anti-Fouling Coatings and Thin Films* (pp. 77–107). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781394234318.ch4>
- Apryatina, K. V, Murach, E. I., Amarrantov, S. V, Erlykina, E. I., Veselov, V. S., & Smirnova, L. A. (2022). Synthesis of a Bioactive Composition of Chitosan – Selenium Nanoparticles. 58(2), 140–145. <https://doi.org/10.1134/S0003683822020028>
- Cirrhinus, N., Nisa, S., Id, M. F., Zakir, S., Shah, H., Khan, N., Aftab, B., Ali, W., Sana, S., & Fatima, A. (2024). Evaluation of growth , antioxidant status , hepatic enzymes and immunity of. 1–13. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0308761>
- Dawood, M. A. O., Basuini, M. F. El, Yilmaz, S., Abdel-latif, H. M. R., Kari, Z. A., Khairul, M., Abdul, A., Ahmed, H. A., Alagawany, M., & Gewaily, M. S. (2021). Selenium Nanoparticles as a Natural Antioxidant and Metabolic Regulator in Aquaculture: A Review. *Antioxidant*, 1–15.
- El-kader, M. F. A., El-bab, A. F. F., Shoukry, M., Abdel-warith, A. A., Younis, E. M., Moustafa, E. M., El-sawy, H. B., Ahmed, H. A., Doan, H. Van, & Dawood, M. A. O. (2020). Evaluating the possible feeding strategies of selenium nanoparticles on the growth rate and wellbeing of European seabass (*Dicentrarchus labrax*). *Aquaculture Reports*, 18, 100539. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100539>
- Fan, J., Huang, Y., Miao, J., & Lai, K. (2026). Ultraviolet-crosslinked AuNPs/polyacrylamide hydrogel SERS platform for rapid detection of malachite green in grass carp and *Macrobrachium nipponense*. *Microchemical Journal*, 220. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2025.116562>
- Hala Saber Khalil*, Sahya Maulu, Marc Verdegem*, M. A.-T. (2023). Embracing nanotechnology for selenium application in aquafeeds. *Reviews in Aquaculture*, 15(1), 112. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/raq.12705>
- Hasan, O., El, A., Mohamed, M., & Ahmed, M. M. (2025). The mitigative effect of selenium nanoparticles against aluminium nanoparticle toxicity in Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*): growth performance , antioxidant status , gene expression , and histopathological changes. *Aquaculture International*, 33(6), 1–25. <https://doi.org/10.1007/s10499-025-02128-z>
- Id, M. M., Fatima, M., Zakir, S., Shah, H., & Khan, N. (2022). Evaluation of dietary selenium methionine levels and their effects on growth performance , antioxidant status , and meat quality of intensively reared juvenile *Hypophthalmichthys molitrix*. 1–12. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0274734>
- Li, Z., Wang, X., Jin, X., Huang, J., & Wang, L. (2023). The effect of selenium on antioxidant system in aquaculture animals. 1–8. <https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1153511>
- Mekky, A. E., Abdo, A. M., Haggag, M. I., Elhaw, M. H., Kadry, M. M., Ghanem, S.

- M., Salama, M. M., Soliman, A. M., & Mahmoud, N. N. (2025). Biosynthesis of selenium nanoparticles from *Dahlia pinnata* tuberous roots with antibacterial, antidiabetic, and erythrocyte membrane protective activities. 1–17.
- MogesID, F. D., & 1, Hamida HamdiID 2*, Amal Al-Barty2, Abeer Abu Zaid3, Manisha Sundaray1, S. K. S. Parashar4, Abebe Getahun Gubale5, B. Das. (2022). Effects of selenium nanoparticle on the growth performance and nutritional quality in. 6, 1–19. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0268348>
- Page, M. J., Mckenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-wilson, E., Mcdonald, S., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews *Systematic reviews and Meta-Analyses*. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Sentkowska, A. (2022). The Influence of Synthesis Conditions on the Antioxidant Activity of Selenium Nanoparticles. 1–14.
- Wakeel, A. H. Al, Elbahnaswy, S., & Zahran, E. (2024). Dietary biogenic selenium nanoparticles improve growth and immune - antioxidant indices without inducing inflammatory responses in Nile tilapia. *Scientific Reports*, 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-72022-w>
- Wang, L., Sagada, G., Wang, R., Li, P., Xu, B., Zhang, C., Qiao, J., & Yan, Y. (2022). Different forms of selenium supplementation in fish feed: The bioavailability, nutritional functions, and potential toxicity. *Aquaculture*, 549(November 2021), 737819. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737819>
- Willian, N., Pardi, H., & Arief, S. (2022). SINGLE-STEP GREEN SYNTHESIS OF GOLD NANOPARTICLES (GNPS) MEDIATED *Rhizophora stylosa* LEAF EXTRACT AND ANTIBACTERIAL EFFECT. *Rasayan Journal of Chemistry*, 15(4), 2570–2575. <https://doi.org/10.31788/RJC.2022.1546815>
- Willian, N., Syukri, S., Zulhadjri, Z., & Arief, S. (2021). Marine plant mediated green synthesis of silver nanoparticles using mangrove *Rhizophora stylosa*: Effect of variable process and their antibacterial activity. *F1000Research*, 10, 768. <https://doi.org/10.12688/f1000research.54661.1>
- Willian, N., Syukri, Zulhadjri, Labanni, A., & Arief, S. (2020). Bio-friendly synthesis of silver nanoparticles using mangrove *rhizophora stylosa* leaf aqueous extract and its antibacterial and antioxidant activity. *Rasayan Journal of Chemistry*, 13(3), 1478–1485. <https://doi.org/10.31788/RJC.2020.1335760>
- Zahran, E., Elbahnaswy, S., Ahmed, F., Risha, E., Mansour, A. T., Alqahtani, A., Awadin, W., & Sebaei, M. G. El. (2024). Dietary microalgal - fabricated selenium nanoparticles improve Nile tilapia biochemical indices, immune - related gene expression, and intestinal immunity. *BMC Veterinary Research*, 1–15. <https://doi.org/10.1186/s12917-024-03966-4>
- Zhu, C., Wu, Z., Liu, Q., Wang, X., Zheng, L., He, S., Yang, F., Ji, H., & Dong, W. (2024). Selenium nanoparticles in aquaculture: Unique advantages in the

production of Se-enriched grass carp (*Ctenopharyngodon idella*). *Animal Nutrition*, 16, 189–201. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2023.11.002>

Zuberi, A., Nazir, S., Batista, J., & Fernandes, K. (2016). Effects of dietary selenium nanoparticles on physiological and biochemical aspects of juvenile *Tor putitora*. 712, 704–712. <https://doi.org/10.3906/zoo-1510-5>