

Exploring the Potential of Astaxanthin Extracted from Shrimp Shell Waste as a Functional Feed Additive in Duck Nutrition

Rohimatul Anwar¹, Widyastuti^{2*}, Annisa Ananda³

^{1,2,3} Universitas Lampung, Indonesia

Email : rohimatul.anwar@fmipa.unila.ac.id¹, widayastuti@fmipa.unila.ac.id, annisananda@fmipa.unila.ac.id

Alamat: Jl. Prof. Dr. Ir. Sumantri Brojonegoro No.1, Kota Bandar Lampung, Lampung 35141

Korespondensi penulis: widayastuti@fmipa.unila.ac.id*

Abstract. *Shrimp shell waste is a potential marine biomass resource rich in bioactive compounds such as astaxanthin and chitin, yet remains underutilized in the livestock sector. This study aimed to evaluate the effect of incorporating shrimp shell meal into duck (Anas sp.) feed rations on the yolk color intensity of duck eggs. The experimental design applied a completely randomized design (CRD) with a single factor and four treatments: D0 (100% rice bran, control), A1 (rice bran + 2% shrimp shell meal), A2 (rice bran + 6%), and A3 (rice bran + 10%), with a 21-day observation period. The primary parameter measured was yolk color intensity, assessed visually using a standardized color scale. The results indicated that the addition of shrimp shell meal significantly enhanced yolk color intensity, with the highest pigmentation observed in the A3 treatment. Astaxanthin, functioning as a natural carotenoid pigment, was biologically absorbed and distributed into the yolk via lipophilic pathways, while chitin supported gut health and nutrient absorption efficiency. This study aligns with the principles of circular economy by valorizing marine processing waste as a functional feed ingredient. A 10% inclusion rate was found to be visually optimal; however, further studies are required to assess its physiological impacts and economic feasibility in broader production contexts.*

Keywords: *astaxanthin, circular economy, duck egg, functional feed, shrimp shell waste*

Abstrak. Limbah kulit udang merupakan salah satu sumber biomassa laut yang kaya akan senyawa bioaktif seperti astaxanthin dan kitin, namun belum banyak dimanfaatkan secara optimal dalam sektor peternakan. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh penambahan tepung limbah kulit udang dalam ransum terhadap intensitas warna kuning telur itik (*Anas sp.*). Desain penelitian menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) satu faktor dengan empat perlakuan, yaitu D0 (kontrol tanpa limbah), A1 (2% limbah), A2 (6% limbah), dan A3 (10% limbah), dengan masa pengamatan selama 21 hari. Parameter utama yang diamati adalah intensitas warna kuning telur secara visual menggunakan skala warna. Hasil menunjukkan bahwa penambahan tepung limbah kulit udang meningkatkan intensitas warna kuning telur secara signifikan, dengan perlakuan A3 menghasilkan warna paling pekat. Astaxanthin bekerja sebagai pigmen alami yang diserap secara biologis dan terdistribusi ke kuning telur melalui mekanisme lipofilik, sedangkan kitin mendukung kesehatan saluran cerna, yang turut meningkatkan efisiensi penyerapan nutrisi. Penelitian ini mendukung prinsip circular economy melalui pemanfaatan limbah organik industri perikanan sebagai bahan pakan fungsional. Dosis optimal secara visual tercapai pada 10%, namun studi lanjutan diperlukan untuk mengevaluasi efektivitas ekonomis dan parameter fisiologis lainnya.

Kata kunci: astaxanthin, circular economy, itik, kulit udang, pakan fungsional

1. LATAR BELAKANG

Indonesia merupakan salah satu negara kepulauan terbesar di dunia yang memiliki sumber daya perikanan laut melimpah, termasuk di dalamnya komoditas udang. Udang merupakan hasil perikanan unggulan yang banyak dibudidayakan dan diekspor dalam bentuk olahan, seperti udang beku, udang kupas, atau produk siap saji lainnya. Dalam proses pengolahan tersebut, bagian tubuh udang seperti kulit, kepala, dan ekor umumnya dibuang sebagai limbah. Jumlah limbah ini cukup besar dan dapat menyebabkan pencemaran lingkungan apabila tidak ditangani secara tepat. Namun demikian, limbah kulit udang sebenarnya memiliki potensi yang besar

sebagai sumber bahan baku bernilai tambah, terutama dalam bidang peternakan sebagai bahan pakan alternatif.

Limbah kulit udang diketahui mengandung senyawa bioaktif seperti astaxanthin dan kitin, yang belum banyak dimanfaatkan secara optimal (Prasetyaningsih et al., 2021). Astaxanthin adalah pigmen alami yang termasuk dalam kelompok karotenoid dan bertanggung jawab atas warna merah-oranye pada kulit udang (Okada et al., 1994). Senyawa ini tidak hanya berperan sebagai pewarna alami, tetapi juga memiliki sifat antioksidan yang sangat kuat, bahkan disebut lebih kuat dibandingkan beta-karoten dan vitamin E. Di sisi lain, kitin dan turunannya (seperti kitosan) merupakan polisakarida yang memiliki berbagai manfaat biologis, termasuk sebagai agen antibakteri, imunostimulan, serta prebiotik yang mendukung kesehatan saluran pencernaan hewan ternak (Marieta et al., 2019).

Dalam konteks peternakan unggas, khususnya itik (*Anas sp.*), kualitas telur menjadi salah satu indikator penting dalam menilai performa ternak (Sunarno et al., 2021). Salah satu aspek kualitas telur yang sering diperhatikan konsumen adalah warna kuning telur. Warna kuning telur tidak hanya menunjukkan tingkat nutrisi dalam telur, tetapi juga secara tidak langsung mencerminkan kualitas pakan yang dikonsumsi oleh unggas (Kojima et al., 2022). Kuning telur yang berwarna cerah atau oranye pekat umumnya lebih disukai konsumen dibandingkan dengan kuning telur yang pucat. Oleh karena itu, peningkatan warna kuning telur melalui penambahan pigmen alami dalam pakan merupakan pendekatan yang banyak dikembangkan.

Beberapa penelitian terdahulu telah menunjukkan bahwa penambahan pigmen alami seperti karotenoid dalam ransum pakan dapat memengaruhi warna kuning telur pada ayam dan itik (Dansou et al., 2023). Namun, penggunaan pigmen sintetis dalam industri peternakan juga masih lazim ditemukan. Penggunaan pigmen sintetis seperti kantaksantin atau beta-apo-8-carotenal dianggap kurang ramah lingkungan dan memiliki risiko residu pada produk hewan (European Food Safety Authority, 2014). Di sinilah pentingnya eksplorasi sumber pigmen alami dari limbah, seperti astaxanthin dari kulit udang, yang lebih aman, berkelanjutan, dan memiliki nilai ekonomi lebih tinggi.

Penambahan limbah kulit udang dalam pakan itik tidak hanya bertujuan untuk meningkatkan warna kuning telur, tetapi juga berpotensi memberikan manfaat lain, seperti peningkatan performa pertumbuhan, efisiensi konversi pakan, serta daya tahan tubuh ternak melalui peran aktif senyawa kitin dan astaxanthin. Selain itu, limbah kulit udang juga mengandung protein, mineral, dan senyawa aromatik yang dapat menambah cita rasa serta kandungan gizi pada ransum pakan.

Namun demikian, pemanfaatan limbah kulit udang dalam pakan ternak masih memerlukan kajian lebih lanjut, terutama terkait dengan formulasi yang tepat, tingkat palatabilitas, efek fisiologis terhadap ternak, serta efisiensinya dalam meningkatkan warna kuning telur. Pengolahan limbah kulit udang menjadi bentuk tepung atau ekstrak juga perlu mempertimbangkan aspek keberlanjutan, teknologi yang digunakan, serta kelayakan ekonomisnya dalam skala industri.

Itik merupakan jenis unggas air yang banyak dipelihara masyarakat di berbagai daerah di Indonesia. Selain memiliki daya tahan tubuh yang relatif baik, itik juga dikenal sebagai penghasil telur yang memiliki cita rasa khas dan nilai ekonomi tinggi (Yani & Elisia, 2024). Namun, salah satu tantangan dalam pemeliharaan itik petelur adalah menciptakan kualitas telur yang konsisten, terutama dari segi warna kuning telur. Kondisi ini menjadi peluang tersendiri bagi pengembangan inovasi pakan berbasis limbah, seperti kulit udang, yang dapat memberikan nilai tambah pada produk akhir.

Dalam perspektif keberlanjutan, pemanfaatan limbah kulit udang sebagai bahan pakan ternak juga mendukung upaya mengurangi beban limbah organik di lingkungan pesisir dan kawasan industri perikanan. Pendekatan ini sejalan dengan prinsip circular economy, di mana limbah dari satu sektor (perikanan) dapat dimanfaatkan sebagai input yang berguna dalam sektor lain/peternakan (Rossi et al., 2024). Dengan demikian, integrasi antar sektor ini dapat menciptakan sistem produksi pangan yang lebih efisien, hemat sumber daya, dan ramah lingkungan.

Berdasarkan uraian tersebut, dapat disimpulkan bahwa limbah kulit udang memiliki potensi besar sebagai sumber bahan tambahan dalam pakan itik, terutama dalam meningkatkan kualitas warna kuning telur. Penelitian mengenai pengaruh penambahan limbah kulit udang terhadap warna kuning telur itik sangat relevan dilakukan untuk mendukung pengembangan pakan alternatif yang murah, efektif, dan ramah lingkungan. Selain itu, hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap peningkatan kualitas produk ternak lokal serta mendukung ketahanan pangan nasional melalui optimalisasi pemanfaatan limbah perikanan.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh penambahan limbah kulit udang dalam ransum pakan terhadap warna kuning telur itik, dengan menitikberatkan pada peran astaxanthin dan kitin sebagai komponen fungsional yang potensial. Hasil dari kajian ini diharapkan dapat menjadi dasar ilmiah bagi formulasi pakan unggas yang lebih efisien dan inovatif, sekaligus memberikan alternatif solusi pengelolaan limbah yang berkelanjutan.

2. KAJIAN TEORITIS

Astaxanthin merupakan pigmen golongan karotenoid yang ditemukan pada organisme laut seperti udang, lobster, dan alga. Secara kimia, astaxanthin bersifat lipofilik, sehingga penyerapannya sangat bergantung pada ketersediaan lemak dalam ransum pakan. Astaxanthin terbukti memiliki aktivitas antioksidan yang sangat kuat dan telah banyak diteliti dalam konteks peningkatan warna jaringan hewan, termasuk kuning telur unggas (Higuera-Ciapara et., 2006). Mekanisme pewarnaan terjadi melalui penyerapan di usus halus, transport via lipoprotein, dan akumulasi di ovarium.

Kitin adalah polisakarida alami yang ditemukan dalam eksoskeleton arthropoda, termasuk kulit udang. Turunannya, kitosan, dikenal memiliki sifat prebiotik, antibakteri, dan imunostimulan. Dalam konteks nutrisi unggas, senyawa ini berperan dalam menjaga integritas mukosa usus, meningkatkan efisiensi penyerapan nutrisi, dan memperbaiki komposisi mikrobiota usus (Khambualai et al., 2008).

Penggunaan limbah kulit udang sebagai bahan pakan merupakan penerapan konsep *circular economy*, yaitu memanfaatkan limbah dari industri perikanan sebagai input produktif di sektor peternakan. Hal ini mendukung prinsip keberlanjutan, pengurangan limbah organik, dan peningkatan nilai ekonomi lokal (Geissdoerfer et al., 2017).

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dirancang secara eksperimental dengan menerapkan Rancangan Acak Lengkap (RAL) satu faktor, yang difokuskan pada variasi konsentrasi tepung limbah kulit udang dalam formulasi ransum pakan. Terdapat empat perlakuan yang digunakan dalam penelitian ini, yakni: perlakuan D0 sebagai kontrol yang terdiri atas 100% dedak tanpa penambahan limbah kulit udang; perlakuan A1 dengan penambahan 2% tepung limbah kulit udang; perlakuan A2 dengan penambahan 6%; dan perlakuan A3 dengan penambahan sebesar 10%. Masing-masing perlakuan diaplikasikan secara acak pada kelompok itik petelur yang homogen, dan dilakukan selama periode pengamatan selama 21 hari guna mengevaluasi respons biologis terhadap perlakuan yang diberikan.

Subjek penelitian adalah itik petelur fase produksi yang homogen dalam umur dan bobot. Semua itik diberi pakan *ad libitum* sesuai perlakuan masing-masing. Tepung kulit udang diperoleh dari limbah pengolahan udang lokal, dikeringkan secara oven, dan digiling hingga menjadi tepung halus.

Parameter utama yang diamati adalah intensitas warna kuning telur, dinilai secara visual menggunakan skala warna (misalnya Roche Color Fan) dan dokumentasi fotografis. Data tambahan mencakup jumlah konsumsi pakan dan pengamatan kualitas fisik telur secara umum.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Salah satu indikator penting dalam menilai kualitas telur, khususnya telur itik, adalah intensitas warna kuning telur yang sering diasosiasikan dengan kandungan pigmen karotenoid, seperti lutein, zeaxanthin, dan astaxanthin. Dalam studi ini, tepung limbah kulit udang yang mengandung astaxanthin dan kitin digunakan sebagai bahan aditif dalam pakan itik. Penelitian ini menerapkan empat perlakuan, yakni D0: dedak murni sebagai kontrol, A1: dedak + 2% tepung kulit udang, A2: dedak + 6%, dan A3: dedak + 10%.

Hasil observasi visual menunjukkan bahwa penambahan tepung limbah kulit udang menghasilkan peningkatan nyata pada intensitas warna kuning telur. Perlakuan A3 menampilkan warna kuning telur paling pekat, mendekati oranye tua, dibandingkan dengan kelompok kontrol, menandakan efektivitas kandungan pigmen alami dalam pakan yang diberikan.

A. Astaxanthin sebagai Pewarna Alami Kuning Telur

Astaxanthin adalah pigmen alami golongan karotenoid yang banyak terdapat dalam hewan laut seperti udang, lobster, dan krustasea lainnya (Maharani et al., 2023). Dalam limbah kulit udang, astaxanthin tersimpan pada eksoskeleton dalam bentuk kompleks astaxanthin–protein dan berwarna merah jingga cerah (Rahmalia et al., 2024).

Ketika limbah kulit udang dikeringkan dan digiling menjadi tepung, astaxanthin tetap berada dalam bentuk stabil yang dapat digunakan sebagai bahan tambahan pakan. Setelah dikonsumsi, pigmen ini dicerna, diserap, dan didistribusikan melalui aliran darah ke ovarium itik, lalu tersimpan dalam kuning telur. Peningkatan intensitas warna kuning telur pada perlakuan A1–A3 merupakan indikasi bahwa astaxanthin berhasil diserap secara biologis dan berdampak langsung terhadap pigmentasi. Semakin tinggi konsentrasi tepung limbah kulit udang dalam ransum, semakin tinggi pula intensitas warna kuning telur yang dihasilkan.

B. Analisis Data Visual

Gambar 1 menyajikan perbedaan nyata antara telur yang berasal dari itik kelompok kontrol (a) dan kelompok perlakuan (b). Warna kuning telur pada gambar (a) cenderung pucat, kekuningan terang, sedangkan pada gambar (b) tampak jauh lebih gelap dan oranye pekat.



Gambar 1 Warna kuning telur (a) Hanya Pelet (b) dengan tambahan limbah kulit udang

Hal ini menunjukkan bahwa penambahan limbah kulit udang memberikan pengaruh visual yang langsung dapat diamati, tanpa memerlukan analisis spektrofotometri. Efek visual ini sangat penting dalam konteks pasar karena konsumen cenderung mengasosiasikan warna kuning telur yang pekat dengan kualitas gizi yang lebih tinggi.

C. Mekanisme Absorpsi dan Transfer Astaxanthin dalam Tubuh Itik

Astaxanthin bersifat larut lemak, sehingga penyerapannya dalam saluran pencernaan unggas melibatkan pembentukan micelle bersama lipid dalam pakan. Setelah melewati dinding usus, astaxanthin dikemas ke dalam lipoprotein (VLDL – very low-density lipoprotein) yang kemudian beredar dalam darah dan mencapai ovarium tempat pembentukan oosit berlangsung (Pertiwi et al., 2022). Di dalam ovarium, astaxanthin disimpan dalam vitelus (yolk), berperan sebagai pigmen alami. Karotenoid semacam ini juga berfungsi sebagai antioksidan kuat, sehingga telur tidak hanya memiliki tampilan yang menarik tetapi juga potensi nilai gizi lebih tinggi (Zhao et al., 2023).

D. Peran Kitin dan Kitosan dalam Pencernaan

Limbah kulit udang tidak hanya kaya astaxanthin, tetapi juga mengandung kitin – polisakarida struktural yang berfungsi sebagai serat fungsional dan memiliki efek prebiotik. Kitin dan turunannya, seperti kitosan, dapat memperbaiki keseimbangan mikroflora usus, meningkatkan daya cerna dan efisiensi penyerapan nutrisi termasuk karotenoid (Agusta, 2021). Dengan lingkungan usus yang lebih sehat, potensi bioavailabilitas astaxanthin meningkat, memungkinkan absorpsi yang lebih optimal dan peningkatan konsentrasi pigmen dalam kuning telur.

E. Efek Bertingkat Sesuai Konsentrasi (A1–A3)

Data penelitian ini menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi limbah kulit udang, semakin pekat warna kuning telur yang dihasilkan yaitu pada A1 (2%): Perubahan warna terjadi namun masih tergolong ringan, A2 (6%): Warna kuning telur mulai berubah menjadi jingga sedang, dan A3 (10%): Warna kuning telur mencapai intensitas oranye pekat (maksimal). Hasil ini menunjukkan adanya hubungan dosis-respons yang linier antara kadar limbah kulit udang dalam pakan dan intensitas warna kuning telur. Namun demikian, dosis lebih dari 10% perlu dievaluasi dari segi palatabilitas dan keamanan konsumsi pakan. Penggunaan berlebih dapat mempengaruhi konsumsi pakan, metabolisme, atau menyebabkan penurunan produktivitas.

Studi sebelumnya yang telah dilakukan oleh Dansou et al pada tahun 2023 menyebutkan sejumlah sumber karotenoid yang efektif untuk meningkatkan warna kuning telur pada unggas, termasuk dari berbagai sumber karotenoid seperti jagung kuning (sumber lutein), paprika merah (sumber capsanthin), bunga marigold (sumber *Tagetes erecta*), serta Spirulina (sumber beta-karoten dan zeaxanthin) penggunaan limbah kulit udang relatif masih sedikit terutama pada unggas air seperti itik. Keunggulan astaxanthin dibanding karotenoid lainnya adalah potensi antioksidan 10 kali lebih kuat dari beta-karoten, stabil dalam kondisi pengolahan pakan, serta pewarnaan lebih pekat dengan dosis lebih kecil.

Pemanfaatan limbah kulit udang tidak hanya berdampak positif pada produktivitas, namun juga memberikan kontribusi terhadap pengurangan limbah industri perikanan, peningkatan nilai ekonomi limbah, penerapan prinsip circular economy dalam peternakan, serta potensi pengembangan industri pakan berbasis bahan lokal. Namun perlu diperhatikan keamanan mikrobiologis dan kandungan logam berat yang mungkin terbawa dari limbah udang. Oleh karena itu, proses pengeringan dan sterilisasi sangat penting dalam produksi tepung kulit udang. Dengan hasil yang nyata secara visual, pakan berbasis limbah kulit udang dapat digunakan secara komersial untuk produksi telur oranye alami tanpa pewarna sintetis, telur premium dengan nilai jual tinggi di pasar organik/fungsional, produk unggulan daerah pesisir berbasis integrasi udang–unggas, serta penerapan skala kecil dapat dimulai oleh UMKM dengan teknologi sederhana seperti penjemuran dan penggilingan limbah kulit udang.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Penambahan tepung limbah kulit udang hingga 10% benar-benar efektif meningkatkan warna kuning telur itik secara alami. Mekanisme biologis seperti astaxanthin diserap melalui micelle-lipoprotein dan diintegrasikan ke oosit, serta kitin mendukung kesehatan pencernaan via modulasi mikrobiota. Dosis optimal menurut visual adalah 10%, namun diperlukan analisis integratif dampak terhadap performa dan sistem pencernaan. Penelitian ini belum tersedia data kuantitatif kandungan astaxanthin dan data ekonomi, namun potensi aplikatif sangat besar dari perspektif *sustainable feed innovation*. Secara keseluruhan, penelitian ini berpotensi membuka paradigma baru dalam pemanfaatan limbah perikanan sebagai sumber pigmen alami yang bermanfaat dan berkelanjutan, dengan aplikasi nyata di sektor telur itik. Arah penelitian selanjutnya dapat memperkuat aspek ilmiah, ekonomis, dan industri, sehingga model ini dapat direplikasi di berbagai daerah pengolahan udang dan peternakan unggas.

DAFTAR REFERENSI

- Agusta, I. (2021). Ekstraksi kitosan dari limbah kulit udang dengan proses deasetilasi. CHEMTAG Journal of Chemical Engineering, 2(2), 38. <https://doi.org/10.56444/cjce.v2i2.1935>
- Dansou, D. M., Zhang, H., Yu, Y., Wang, H., Tang, C., Zhao, Q., Qin, Y., & Zhang, J. (2023). Carotenoid enrichment in eggs: From biochemistry perspective. Animal Nutrition, 14, 315–333. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2023.05.012>
- European Food Safety Authority (EFSA). (2014). Scientific opinion on the safety and efficacy of canthaxanthin as a feed additive for poultry and for ornamental birds and ornamental fish. EFSA Journal, 12(1), 1–24. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2014.3527>
- Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M. P., & Hultink, E. J. (2017). The circular economy – A new sustainability paradigm? Journal of Cleaner Production, 143(April 2018), 757–768. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048>
- Higuera-Ciapara, I., Félix-Valenzuela, L., & Goycoolea, F. M. (2006). Astaxanthin: A review of its chemistry and applications. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 46(2), 185–196. <https://doi.org/10.1080/10408690590957188>
- Khambualai, O., Yamauchi, K. E., Tangtaweewipat, S., & Cheva-Isarakul, B. (2008). Effects of dietary chitosan diets on growth performance in broiler chickens. The Journal of Poultry Science, 45(3), 206–209.
- Kojima, S., Koizumi, S., Kawami, Y., Shigeta, Y., & Osawa, A. (2022). Effect of dietary carotenoid on egg yolk color and singlet oxygen quenching activity of laying hens. Journal of Poultry Science, 59(2), 137–142. <https://doi.org/10.2141/jpsa.0210032>

- Maharani, N. R., Kurniasih, R. A., & Sumardianto. (2023). Ekstraksi astaxanthin dengan suhu yang berbeda dari karapas udang vaname (*Litopenaeus vannamei*) menggunakan pelarut minyak kelapa. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Perikanan*, 5(1), 26–31.
- Marieta, A., Musfiroh, I., & Bandung Sumedang, J. K. (2019). Review artikel: Berbagai aktivitas farmakologi dari senyawa kitosan. *Jurnal Kimia Riset*, 17(4), 105–110
- Okada, S., Nur-E-Borhan, S. A., & Yamaguchi, K. (1994). Carotenoid composition in the exoskeleton of commercial black tiger prawns. *Fisheries Science*, 60(2), 213–215.
- Pertiwi, H., Nur Mahendra, M. Y., & Kamaludeen, J. (2022). Astaxanthin as a potential antioxidant to improve health and production performance of broiler chicken. *Veterinary Medicine International*, 2022, Article 4919442. <https://doi.org/10.1155/2022/4919442>
- Prasetyaningsih, A., Najoran, G. C., Wisaksono, A., & Rahardjo, D. (2021). Ekstraksi astaxanthin kulit udang (*Litopenaeus vannamei*) Pantai Gunung Kidul menggunakan pelarut minyak bunga matahari dan etanol. *Biosaintropis (Bioscience-Tropic)*, 7(1), 33–43. <https://doi.org/10.33474/e-jbst.v7i1.384>
- Rahmalia, W., Adhitiyawarman, A., Prayitno, D. I., & Lubis, Y. N. B. (2024). Aktivitas antioksidan ekstrak astaxanthin dari limbah kulit dan kepala udang dogol (*Metapenaeus ensis*). *Jurnal Kelautan Tropis*, 27(2), 380–390. <https://doi.org/10.14710/jkt.v27i2.22706>
- Rossi, N., Grosso, C., & Delerue-Matos, C. (2024). Shrimp waste upcycling: Unveiling the potential of polysaccharides, proteins, carotenoids, and fatty acids with emphasis on extraction techniques and bioactive properties. *Marine Drugs*, 22(4), Article 153. <https://doi.org/10.3390/md22040153>
- Sunarno, S., Budiraharjo, K., & Solikhin, S. (2021). Analisis efek pemeliharaan sistem intensif dan ekstensif terhadap produktivitas dan kualitas telur itik Tegal. *Jurnal Peternakan Indonesia (Indonesian Journal of Animal Science)*, 23(2), 83–93. <https://doi.org/10.25077/jpi.23.2.83-93.2021>
- Yani, N. F., & Elisia, R. (2024). Pengembangan industri peternakan itik petelur di Indonesia dan global (Overview of production and development challenges of the layer ducks farming industry in Indonesia and globally). *Jurnal Peternakan Tropis*, 2, 2–11.
- Zhao, Y. C., Li, X. Y., Wang, C. C., Yang, J. Y., Xue, C. H., Zhang, T. T., & Wang, Y. M. (2023). Free astaxanthin-rich diets enhanced astaxanthin accumulation in egg yolks compared to esterified astaxanthin-rich diets. *Food Chemistry*, 405, 266003. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134872>