

Pengaruh Suplementasi Minyak Lalat Tentara Hitam (*Hermetia illucens* L.) Terproteksi Metaloenzim Zink dan Selenium Terhadap Diferensiasi Leukosit Ayam Petelur

Effect of Zinc and Selenium-Metalloenzyme Protected Black Soldier Fly (*Hermetia illucens* L.) Oil on Laying Hen Leukocyte Differentiation

Rodinatul Munawaroh^{1 *}, Sama' Iradat Tito^{2**}, Brahmadhita Pratama Mahardhika^{3***}

¹ Program Studi S1 Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Islam Malang, Indonesia

² Program Studi S1 Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Islam Malang, Indonesia

³ Program Studi S1 Peternakan, Fakultas Peternakan, Universitas Islam Malang, Indonesia

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh minyak lalat tentara hitam (*Hermetia illucens* L.) terproteksi metaloenzim zink dan selenium terhadap diferensiasi leukosit ayam petelur. Rancangan yang digunakan pada penelitian ini adalah Rancangan Acak Lengkap Faktorial (RALF) dengan 2 faktor perlakuan dan 3 ulangan. Faktor penelitian yang digunakan yaitu dosis minyak lalat tentara hitam (0%, 1,5%, 3%), dan faktor jenis antioksidan (zink, selenium, serta kombinasi zink+selenium). Sebanyak 27 ekor ayam petelur ISA Brown diberi pakan perlakuan selama 30 hari. Analisis data menggunakan *Anayisis Of Varience* (ANOVA) dan jika didapatkan data yang berbeda nyata maka dilanjutkan dengan uji Duncan. Parameter yang diuji dari penelitian ini adalah diferensiasi leukosit. Sampel darah dianalisis untuk menghitung persentase heterofil, limfosit, monosit, eosinofil, basofil, dan rasio heterofil/limfosit (H/L). Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemberian suplementasi minyak lalat tentara hitam dapat mempertahankan rata-rata diferensiasi leukosit dalam kondisi normal. Hasil menunjukkan minyak lalat tentara hitam 3% meningkatkan heterofil dan rasio H/L ($P<0,05$) serta menurunkan limfosit, mengindikasikan peningkatan respons stres. Semua dosis minyak BSF meningkatkan eosinofil secara sangat nyata ($P<0,01$). Suplementasi selenium tunggal menghasilkan profil leukosit paling menguntungkan dengan eosinofil terendah dan kestabilan limfosit. Interaksi sangat nyata ($P<0,01$) antara minyak BSF dan antioksidan terjadi pada eosinofil dan rasio H/L. Formulasi optimal adalah minyak BSF dosis 1,5% dengan selenium tunggal, yang memberikan efek imunomodulasi tanpa memicu stres berlebihan, mendukung pemanfaatan limbah untuk pakan berkelanjutan.

Kata kunci: *Hermetia illucens*, Zink, Selenium, Ayam Petelur, Diferensiasi leukosit

ABSTRACT

This study aimed to examine the effects of black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) oil protected with zinc and selenium metalloenzymes on leukocyte differentiation in laying hens. The design used in this study was a Completely Randomized Factorial Design (CRFD) with two treatment factors and three replications. The experimental design used was a Completely Randomized Factorial Design (CRFD) with two treatment factors and three replications. The factors consisted of black soldier fly oil dosage (0%, 1.5%, and 3%) and antioxidant type (zinc, selenium, and a combination of zinc and selenium). A total of 27 ISA Brown laying hens were fed the experimental diets for 30 days. Data were analyzed using Analysis of Variance (ANOVA), followed by Duncan's multiple range test when significant differences were observed. Leukocyte differentiation parameters included heterophils, lymphocytes, monocytes, eosinophils, basophils, and the heterophil-to-lymphocyte (H/L) ratio. The

^{*}) Rodinatul Munawaroh, Student of Biology Study Program/ Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Islamic University of Malang, Jl. Mayjen Haryono No. 193, Malang, East Java, Indonesia.,
Telp. /+62 831-5983-1465 and e-mail: 22201061037@unisma.ac.id

^{**}) Dr. Sama' Iradat Tito, S.Si., M.Si, Lecturer of Biology Study Program/ Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Islamic University of Malang, Jl. Mayjen Haryono No. 193, Malang, East Java, Indonesia.,
Telp. /+62 813-8095-2983 and E-mail: sama_iradat_tito@unisma.ac.id

^{***}) Ir. Brahmadhita Pratama Mahardhika, S.Pt., M.Si., IPP, Lecturer of Animal Husbandry Study Program, Faculty of Animal Husbandry, Islamic University of Malang, Jl. Mayjen Haryono No. 193, Malang, East Java, Indonesia.,
Telp. /+62 852-1234-5169 and E-mail: brahmamahardhika@unisma.ac.id

results showed that black soldier fly oil supplementation maintained leukocyte differentiation within normal physiological ranges. Supplementation with 3% BSF oil significantly increased heterophils and the H/L ratio ($P<0.05$) while decreasing lymphocytes, indicating an elevated stress response. All black soldier fly oil doses significantly increased eosinophil levels ($P<0.01$). Single selenium supplementation resulted in the most favorable leukocyte profile, characterized by the lowest eosinophil levels and stable lymphocyte values. A highly significant interaction ($P<0.01$) between BSF oil and antioxidant type was observed for eosinophils and the H/L ratio. The optimal formulation was 1.5% BSF oil combined with single selenium supplementation, which provided immunomodulatory effects without inducing excessive stress, supporting sustainable waste utilization for animal feed.

Keywords: *Hermentia* Oil, Zinc, Selenium, Laying Hens, Leukocyte differentiation

Pendahuluan

Pembangunan berkelanjutan sebagaimana tertuang dalam *Sustainable Development Goals* (SDGs) menekankan pentingnya pemanfaatan sumber daya alam secara efisien dan ramah lingkungan. Salah satu tantangan utama yang dihadapi saat ini adalah meningkatnya jumlah sampah organik serta keterbatasan sumber pangan bergizi yang berkelanjutan. Menurut Kementerian Lingkungan Hidup RI (2025) total sampah di Indonesia secara keseluruhan mencapai 56,63 juta ton dengan 61% totalnya tidak terkelola dengan baik. Di sisi lain, Pemerintah Indonesia juga sedang berfokus pada pemberantasan stunting yang hingga akhir 2024 masih berada pada angka 21,5%, meskipun target penurunan tahun 2025 ditetapkan sebesar 18%. Hal ini menunjukkan bahwa diperlukannya solusi terintegrasi yang mampu menjawab persoalan lingkungan dan gizi secara simultan.

Permasalahan stunting menjadi fokus utama pembangunan sumber daya manusia sebagaimana tertuang dalam Asta Cita Pemerintah Indonesia, dengan penekanan pada pemenuhan gizi ibu hamil dan anak. Telur ayam dipandang sebagai sumber protein hewani yang strategis baik dari segi nutrisi maupun keamanan pangan karena harganya terjangkau, mudah diperoleh, dan memiliki nilai biologis tinggi. Data Widyastuti & Daydeva [1] menunjukkan bahwa produksi telur ayam nasional meningkat rata-rata 3,29% per tahun, sementara konsumsi meningkat 4,78% per tahun, yang menegaskan peran penting telur dalam ketahanan pangan nasional dan pencapaian SDGs tujuan ke-2 (*zero hunger*).

Pemanfaatan lalat tentara hitam (*Hermetia illucens* L.) merupakan alternatif inovatif yang berpotensi mengonversi sampah organik menjadi bahan pakan bernilai tinggi. Penelitian sebelumnya tepung lalat tentara hitam dapat mempertahankan rata-rata total leukosit dan rata-rata diferensial leukosit dalam kondisi normal yaitu 22,59–25,07 $\times 10^3/\text{mm}^3$; heterofil 27-29%; eosinofil 4-6,75%; basofil 1,25-2%; limfosit 53,5-57%; dan monosit 9,6–11,4% [2]. Produk turunannya, seperti minyak lalat tentara hitam, mengandung asam lemak esensial terutama asam laurat, yang bersifat antimikroba, imunomodulator, dan berpotensi meningkatkan kesehatan ternak [3]. Asam laurat dikategorikan sebagai asam lemak rantai menengah dan memiliki potensi yang signifikan untuk dikembangkan, baik dalam bidang kesehatan maupun industri [4]. Hasil penelitian Shabira *et al.* [5] menemukan bahwa ekstrak dari Lalat Tentara Hitam mengandung senyawa fitokimia, terutama alkaloid dan flavonoid, yang dikenal memiliki aktivitas antioksidan, antiinflamasi, serta antimikroba.. Selain itu minyak Lalat tentara hitam juga memiliki kandungan lemak yang tinggi dan beragam diantaranya yang tertinggi adalah asam laurat, asam oleat, asam palmitat, dan asam miristat [6]. Namun, minyak lalat tentara hitam memiliki stabilitas oksidatif yang rendah, sehingga dapat memicu stres oksidatif dan berdampak negatif pada kesehatan ayam serta kualitas telur. Berdasarkan Dewi *et al.* [7] peningkatan asam laurat didukung dengan pemberian antioksidan, antioksidan berperan melindungi asam laurat dari degradasi dan oksidasi sehingga menjaga kualitasnya. Oleh karena itu, diperlukan upaya proteksi minyak melalui penambahan mikronutrien

antioksidan seperti zink (Zn) dan selenium (Se), yang berperan penting dalam sistem imun dan pembentukan enzim antioksidan.

Kualitas telur sangat dipengaruhi oleh kondisi fisiologis ayam petelur. Ayam yang mengalami stres fisiologis cenderung menunjukkan penurunan performa produksi dan kualitas telur. Stres pada ayam dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk pakan, yang selanjutnya berdampak pada sistem imun. Salah satu indikator biologis yang umum digunakan untuk menilai tingkat stres dan status imun ayam adalah diferensiasi leukosit, khususnya rasio heterofil/limfosit (H/L) [8].

Meskipun berbagai penelitian telah mengkaji minyak lalat tentara hitam maupun mineral mikro secara terpisah, kajian mengenai pengaruh minyak lalat tentara hitam (*Hermetia illucens* L.) terproteksi zink dan selenium terhadap diferensiasi leukosit ayam petelur masih terbatas. Diferensiasi leukosit terdiri atas heterofil, eosinofil, basofil, limfosit dan monosit [9]. Penambahan minyak lalat tentara hitam yang dikombinasikan dengan metaloenzim zink dan selenium diduga dapat berpotensi memodulasi sistem imun dan menurunkan respons stres, yang tercermin melalui profil diferensiasi leukosit yang lebih seimbang. Oleh karena itu, penelitian mengenai pengaruh pemberian minyak lalat tentara hitam terproteksi metaloenzim zink dan selenium terhadap diferensiasi leukosit ayam petelur menjadi penting untuk dilakukan. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah dalam pengembangan nutrisi ternak serta mendukung pencapaian SDGs melalui integrasi pengelolaan limbah, kesehatan ternak, dan ketahanan pangan berkelanjutan.

Material dan Metode

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian yaitu 27 ekor Ayam Petelur (ISA Brown), pakan pakan perlakuan hasil formulasi, minyak Lalat Tentara Hitam, zink, dan selenium. Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah tempat pakan, tempat minum, dan kandang individu ternak. Peralatan untuk pengambilan sampel darah, yaitu kapas, spuit 1 ml, tabung EDTA, dan cooler box.

Metode

Penelitian ini dilakukan selama 4 bulan yaitu bulan Juli hingga Oktober 2025. Bulan pertama penyusunan formulasi serta pembuatan pakan ayam petelur. Bulan kedua dilakukan uji biologis pemeliharaan ayam petelur. Bulan ketiga dilakukan pengambilan sampel untuk dilakukan pengukuran parameter pada setiap perlakuan. Bulan keempat dilakukan analisis data dan penyusunan laporan. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium (Teaching Farm) Universitas Islam Malang

Metode yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan 2 faktor perlakuan yaitu dosis minyak magot (M) dan Jenis antioksidan dengan 3 kali pengulangan pada setiap kombinasi kedua faktor percobaan. Perlakuan penelitian ditunjukkan sebagai berikut:

- M0A1= Minyak BSF 0%+ Zink
- M0A2= Minyak BSF 0%+ Selenium
- M0A3= Minyak BSF 0%+ Zink+ selenium
- M1A1= Minyak BSF 1,5%+ Zink
- M1A2= Minyak BSF 1,5%+ Selenium
- M1A3= Minyak BSF 1,5%+ Zink+ selenium
- M2A1= Minyak BSF 3%+ Zink
- M2A2= Minyak BSF 3%+ Selenium
- M2A3= Minyak BSF 3%+ Zink+ selenium

Cara Kerja

Penelitian ini diawali dengan penyusunan ransum perlakuan menggunakan metode trial error berbasis general linier model menggunakan tools solvers pada Microsoft excel. Ransum di susun berdasarkan ISO Protein dan ISO Energy. Penyusunan Ransum Berdasarkan standar kebutuhan rekomendasi Leeson and Summer [10]. Setelah dilakukan formulasi ransum lalu dilakukan pembuatan pakan dengan mencampur seluruh pakan yaitu jagung, dedak padi, bungkil kedelai, *corn gluten meal*, *meat bone meal*, kalsium karbonat (CaCO_3), DCP, premix, minyak lalat tentara hitam, dan antioksidan sesuai dengan komposisi hasil formulasi ransum. Setelah ransum terbentuk lalu dilakukan uji biologis pada ternak selama 30 hari. Pemberian pakan dan air minum secara ad libitum. Pada akhir pemeliharaan uji biologis pakan pada ayam dilakukan pengambilan sampel darah melalui vena jugularis yang ada pada leher ayam. Sampel darah diletakkan pada Tabung EDTA lalu dianalisa nilai diferensiasi leukosit. Metode pengukuran diferensiasi leukosit metode manual (apusan darah tepi/mikroskop) atau otomatis (mesin *hematology analyzer*). Metode manual yang digunakan dengan pewarnaan Giemsa.

Rancangan Penelitian dan Analisis Data

Rancangan yang digunakan pada penelitian ini adalah Rancangan Acak Lengkap Faktorial (RALF). Analisis data yang digunakan adalah *Analysis of Variance* (ANOVA). Apabila diperoleh data yang berbeda nyata dilakukan uji Duncan.

Hasil dan Diskusi

Berdasarkan hasil analisis data, diketahui bahwa penggunaan minyak lalat tentara hitam dalam semua dosis (1,5% dan 3%) dalam pakan berpengaruh sangat nyata ($P < 0.01$) meningkatkan eosinofil. Penggunaan minyak lalat tentara hitam pada dosis 3% secara nyata ($P < 0.05$) meningkatkan heterofil dan rasio H/L serta menurunkan limfosit. Penggunaan minyak lalat tentara hitam dalam semua dosis tidak menunjukkan pengaruh nyata pada nilai monosit dan basofil pada penelitian ini.

Penggunaan metaloenzim selenium secara sangat nyata ($P < 0.01$) menghasilkan nilai Eosinofil yang lebih rendah dibandingkan perlakuan antioksidan zink dan kombinasi zink + selenium. Kombinasi antioksidan zink + selenium secara nyata ($P < 0.05$) menghasilkan nilai H/L rasio yang lebih tinggi namun menghasilkan nilai limfosit yang lebih rendah dibandingkan penggunaan zink dan selenium secara tunggal.

Terdapat interaksi sangat nyata ($P < 0.01$) antara penggunaan minyak lalat tentara hitam dan metaloenzim antioksidan terhadap nilai eosinofil dan H/L rasio serta nyata ($P < 0.05$) terhadap nilai limfosit. Pada nilai heterofil, monosit dan basofil tidak menunjukkan adanya interaksi pada perlakuan penggunaan minyak lalat tentara hitam dan metaloenzim antioksidan. Data diferensiasi leukosit ayam petelur yang diberi pakan mengandung minyak lalat tentara hitam tersuplementasi metaloenzim antioksidan zink dan selenium disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Data diferensiasi leukosit ayam petelur yang diberi pakan mengandung minyak lalat tentara hitam tersuplementasi metaloenzim antioksidan zink dan selenium

Parameter	Dosis Minyak	Antioksidan			Rataan
		Zink	Selenium	Zink+Selenium	
Heterofil	0%	28,31 $\pm$ 3,32	23,54 $\pm$ 0,68	39,02 $\pm$ 0,25	30,29 $\pm$ 7,07 ^a
	1,5%	34,17 $\pm$ 0,51	28,38 $\pm$ 1,38	35,24 $\pm$ 2,21	32,60 $\pm$ 3,46 ^a ^b
	3%	31,62 $\pm$ 6,12	40,06 $\pm$ 2,99	31,07 $\pm$ 4,58	34,25 $\pm$ 5,99 ^b
	Rataan	31,37 $\pm$ 4,32	30,66 $\pm$ 7,55	35,11 $\pm$ 4,28	
Limfosit	0%	65,79 $\pm$ 3,02 ^b	72,22 $\pm$ 0,59 ^a	55,31 $\pm$ 0,82 ^{de}	64,44 $\pm$ 7,56 ^a
	1,5%	60,58 $\pm$ 0,37 ^{cd}	64,32 $\pm$ 1,80 ^{bc}	59,13 $\pm$ 2,34 ^{cde}	61,34 $\pm$ 2,75 ^a
	3%	62,36 $\pm$ 6,70 ^{cd}	53,76 $\pm$ 2,7 ^{8e}	62,78 $\pm$ 4,44 ^{bc}	59,66 $\pm$ 6,14 ^b

	Rataan	62,91 ± 4,34 ^a	63,43 ± 8,205 ^a	59,10 ± 4,14 ^b	
Monosit	0%	3.40 ± 0.24	2.76 ± 0.21	2.59 ± 0.50	2,92 ± 0,47
	1,5%	2.50 ± 0.15	3.70 ± 0.26	2.60 ± 0.29	2,93 ± 0,61
	3%	2.77 ± 1.04	3.23 ± 0.48	3.34 ± 0.53	3,11 ± 0,68
	Rataan	2,89 ± 0,67	3,23 ± 0,50	2,84 ± 0,54	
Eosinofil	0%	1,40 ± 0,14 ^D	1,25 ± 0,02 ^E	1,65 ± 0,19 ^{BCD}	1,10 ± 0,66 ^C
	1,5%	1,60 ± 0,08 ^{BD}	2,25 ± 0,11 ^A	1,79 ± 0,00 ^{BC}	1,88 ± 0,30 ^A
	3%	1,87 ± 0,15 ^B	1,64 ± 0,29 ^{BCD}	1,57 ± 0,11 ^{CD}	1,69 ± 0,22 ^B
	Rataan	1,62 ± 0,23 ^A	1,38 ± 0,9 ^B	1,67 ± 0,15 ^A	
Basofil	0%	1,11 ± 0,02	1,22 ± 0,09	1,43 ± 0,00	1,25 ± 0,15
	1,5%	1,15 ± 0,06	1,36 ± 0,07	1,24 ± 0,07	1,25 ± 0,11
	3%	1,39 ± 0,16	1,31 ± 0,01	1,16 ± 0,13	1,29 ± 0,14
	Rataan	1,21 ± 0,16	1,30 ± 0,09	1,28 ± 0,14	
Rasio H/L	0%	0.43 ± 0.07 ^{AB}	0.33 ± 0.01 ^A	0.71 ± 0.01 ^{DE}	0,49 ± 0,17 ^a
	1,5%	0.56 ± 0.01 ^{BC}	0.44 ± 0.03 ^{AB}	0.50 ± 0.06 ^{CD}	0,53 ± 0,08 ^{ab}
	3%	0.52 ± 0.15 ^{BC}	0.75 ± 0.09 ^E	0.50 ± 0.11 ^{BC}	0,59 ± 0,16 ^b
	Rataan	0,50 ± 0,10 ^a	0,51 ± 0,20 ^a	0,60 ± 0,11 ^b	

Heterofil

Persentase heterofil menunjukkan kecenderungan meningkat seiring peningkatan dosis minyak lalat tentara hitam, khususnya pada dosis 3%. Sementara perlakuan kombinasi zink + selenium menghasilkan nilai heterofil menurun seiring dengan peningkatan minyak lalat tentara hitam. Nilai-nilai ini secara umum lebih tinggi daripada rentang normal heterofil pada ayam petelur sehat, yaitu sekitar 20-40% [11]. Hal ini mengindikasikan adanya aktivasi sistem imun bawaan, yang kemungkinan dipicu oleh komponen bioaktif dalam minyak BSF dan/atau efek imunomodulator dari antioksidan mineral tersebut. Selenium diketahui berperan penting dalam sistem pertahanan antioksidan melalui aktivitas *glutathione peroxidase*, yang dapat mengurangi stres oksidatif dan sekaligus meningkatkan fungsi sel imun seperti heterofil [12]. Dari perspektif fisiologis, nilai heterofil yang sedikit meningkat namun masih terkendali ini mengindikasikan terjadinya stimulasi imun yang bersifat moderat dan menguntungkan (imunomodulasi), tanpa diikuti oleh respons inflamasi atau stres oksidatif yang berlebihan.

Limfosit

Persentase limfosit cenderung menurun pada dosis minyak lalat tentara hitam yang lebih tinggi, terutama pada dosis 3%, namun masih berada dalam kisaran fisiologis normal. Perlakuan zink dan selenium tunggal menunjukkan nilai limfosit lebih tinggi dibandingkan kombinasi pada dosis tertentu. Nilai limfosit pada penggunaan minyak lalat tentara hitam dengan suplementasi zink lebih rendah dibandingkan dengan suplementasi selenium. Sesuai dengan hasil penelitian Shakeri *et al.*, [13], selenium dapat meredam stres pada unggas lebih baik. Tingginya nilai limfosit menunjukkan bahwa kadar stres dapat dikendalikan. Limfosit adalah bagian dari leukosit yang memberikan respons imun spesifik dan memori terhadap mikroorganisme berbahaya. Limfosit terdiri atas limfosit B dan limfosit T. Peningkatan limfosit menjadi indikasi bahwa pembentukan imunitas bekerja dengan baik sehingga penurunan stres dapat terjadi secara optimal [8]. Penggunaan selenium tidak bekerja efektif pada perlakuan minyak lalat tentara hitam 3%. Hal ini diduga stres oksidatif sudah terlalu tinggi. Pembentukan radikal bebas terjadi sangat tinggi sehingga antioksidan selenium belum mampu mengimbangi atau menetralkan radikal bebas tersebut. Peningkatan nilai limfosit dengan pemberian selenium berdampak pada penurunan nilai H/L rasio. Semakin rendah nilai H/L rasio menandakan bahwa respons stres dapat dikendalikan dengan baik.

Monosit

Persentase monosit relatif stabil pada seluruh perlakuan, tanpa perbedaan nyata yang ekstrem. Nilai sedikit lebih tinggi ditemukan pada dosis 3% dengan selenium. Kestabilan ini mengindikasikan bahwa perlakuan yang diberikan tidak memicu respons inflamasi akut atau aktivasi imun yang berlebihan. Monosit berperan dalam memfagositosis sel bakteri patogen dan bertindak sebagai sistem pengatur ketika terjadi peradangan, serta merespons kekebalan [14]. Menurut Lubis *et al.* [15]. Larva *Hermetia* mengandung kadar asam laurat yang tinggi, suatu asam lemak yang berperan sebagai agen antimikroba alami yang dapat menekan risiko infeksi pada ayam.

Eosinofil

Persentase eosinofil meningkat nyata pada dosis 1,5% minyak lalat tentara hitam, kemudian sedikit menurun pada dosis 3%, namun masih dalam batas normal. Menurut Asella *et al.* [16] batas maksimal kadar eosinofil unggas adalah 3% sedangkan pada penelitian ini nilai eosinofilnya 1,25-2,25%. Peningkatan eosinofil menjadi indikasi bahwa sistem imunitas ayam petelur merespons secara aktif terhadap komponen senyawa aktif dalam minyak lalat tentara hitam salah satunya adalah asam laurat [17]. Selain itu, di dalam minyak lalat tentara hitam yang diberikan mengandung senyawa kitin yang berpotensi sebagai imunostimulan. Penggunaan minyak lalat tentara hitam secara aktif dapat merangsang respons imunitas tanpa menimbulkan efek samping berupa peradangan atau alergi yang merugikan dibuktikan dengan kadar eosinofil yang masih normal dalam penelitian ini.

Terdapat interaksi antara penggunaan minyak lalat tentara hitam dan antioksidan pada nilai eosinofil. Pada penelitian ini suplementasi selenium sebagai antioksidan berperan baik karena dapat menurunkan nilai eosinofil pada ayam petelur baik pada perlakuan kontrol maupun pemberian minyak lalat tentara hitam level 1,5% maupun 3% dibandingkan dengan pemberian zink. Pencampuran antara zink dan selenium menghasilkan efek yang lebih baik dibandingkan penggunaan metaloenzim tunggal karena dapat menurunkan nilai eosinofil baik pada perlakuan kontrol maupun pemberian minyak lalat tentara hitam 1,5% maupun 3%. Kadar imunitas tubuh tidak perlu ditingkatkan secara masif jika diberikan perlakuan antioksidan karena antioksidan berperan untuk melawan radikal bebas selain dari perlindungan tubuh itu sendiri [18].

Basofil

Nilai basofil relatif tidak berbeda nyata antar perlakuan, menunjukkan kestabilan respons hipersensitivitas. Nilai-nilai ini tetap berada dalam rentang fisiologis normal basofil pada unggas, yang dilaporkan sangat rendah, umumnya kurang dari 2% dari total leukosit. Basofil, bersama dengan sel mast, merupakan sel efektor kunci dalam respons imun hipersensitivitas tipe I (alergi) dan terlibat dalam pertahanan terhadap parasit melalui pelepasan mediator seperti histamin dan heparin [19]. Stabilitas dan rendahnya nilai basofil pada semua perlakuan, termasuk pada dosis minyak tertinggi (3%), merupakan indikator positif bahwa minyak BSF dan mineral antioksidan yang digunakan tidak bersifat alergenik atau tidak memicu respons inflamasi alergi yang tidak diinginkan. Selain itu, ketiadaan peningkatan basofil juga mengisyaratkan bahwa suplementasi zink dan selenium, meskipun dikenal sebagai imunomodulator, tidak mengarah pada polarisasi respon imun ke arah fenotip yang didominasi oleh hipersensitivitas

Rasio H/L

Rasio H/L meningkat seiring peningkatan dosis minyak lalat tentara hitam, dengan nilai tertinggi pada dosis 3%, khususnya pada perlakuan selenium dan kombinasi. Namun, seluruh

nilai masih berada pada kisaran stres ringan–sedang. Penggunaan minyak lalat tentara hitam pada dosis 3% dapat meningkatkan H/L rasio. Rasio heterofil/limfosit (H/L) mencerminkan ketahanan ayam dan status sistem kekebalan tubuh [20]. Hal ini menunjukkan adanya stres oksidatif akibat pemberian minyak lalat tentara hitam. Minyak lalat tentara hitam merupakan salah satu jenis minyak hewani yang tinggi asam lemak jenuh [21]. Tingginya asam lemak jenuh pada lalat tentara hitam dapat meningkatkan beban metabolik dan *heat increment* karena produksi panas dalam tubuh unggas ketika diberi minyak jenuh akan meningkat sedangkan unggas tidak memiliki mekanisme perpindahan panas secara efektif. Unggas tidak memiliki pori-pori kulit sehingga produksi panas akan banyak tertahan di dalam tubuh dan mengakibatkan stres. Menurut Chang *et al.*, [22] stres panas jika dibiarkan dalam waktu lama akan menjadi pemicu stres oksidatif. Stres oksidatif adalah kondisi ketika jumlah radikal bebas di dalam tubuh lebih besar dibandingkan kadar antioksidannya. Radikal bebas salah satunya dipicu dengan adanya stres panas dalam tubuh unggas [23].

Kesimpulan

Penelitian menunjukkan bahwa pemberian minyak lalat tentara hitam (BSF) dengan antioksidan zink dan selenium berpengaruh dalam memperbaiki nilai diferensiasi leukosit ayam petelur. Kombinasi minyak BSF 1,5% dengan selenium merupakan formulasi paling optimal untuk meningkatkan respons imun ayam petelur.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains, dan Teknologi, Direktorat Pembelajaran dan Kemahasiswaan, LPPM UNISMA, Sentra HKI dan Inovasi UNISMA, Badan Penjamin Mutu dan Kepengawasan, Program Studi Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, serta terima kasih sebesar-besarnya kepada kampus tercinta Universitas Islam Malang dan seluruh jajaran pimpinan serta Yayasan.

Daftar Pustaka

- [1] Widyastuti, E., & Daydeva, A. 2018. Aplikasi Teknologi Dielectric Barrier Discharge-UV Plasma terhadap Sifat Fisik dan Kimia Telur Ayam (*Gallus gallus domesticus*). *Buana Sains*, 18(1), 85–96. <https://doi.org/10.33366/bs.v18i1.942>
- [2] Nabila, A., Suharyati, S., Fathul, F., & Hartono, M. 2024. Pengaruh Suplementasi Tepung Maggot Black Soldier Fly (BSF) dalam Ransum terhadap Total Leukosit dan Diferensial Leukosit Darah Ayam Joper. *Jurnal Riset dan Inovasi Peternakan*, 8(4), 641–651. <https://doi.org/10.23960/jrip.2024.8.4.641-651>
- [3] Nugroho, R. A., Aryani, R., Hardi, E. H., Manurung, H., Rudianto, R., & Jati, W. N. 2024. Fermented Palm Kernel Waste with Different Sugars as Substrate for Black Soldier Fly Larvae. *Global Journal of Environmental Science and Management*, 10(2), 503–516. <https://doi.org/10.22034/gjesm.2024.02.06>
- [4] Hosseindoust, A., Ha, S. H., Mun, J. Y., & Kim, J. S. 2023. Quality Characteristics of Black Soldier Flies Produced by Different Substrates. *Insects*, 14(6), 500. <https://doi.org/10.3390/insects14060500>
- [5] Shabira, A. R., Fadiah, L. H., & Umami, M. 2025. Analisis Senyawa Fitokimia dari Ekstrak Maggot Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*). *Zoologi: Jurnal Ilmu Peternakan, Ilmu*

- Perikanan, dan Ilmu Kedokteran Hewan, 3(2), 51–63.
<https://doi.org/10.62951/zoologi.v3i2.202>
- [6] Majid, Z. A. N. M., Rahmawati, L., & Rohmanna, N. A. 2023. Identifikasi Profil Asam Amino dan Lemak Black Soldier Fly Larvae Menggunakan Pakan Bungkil dan Sisa Makanan. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 33(1), 41–49.
<https://journal.ipb.ac.id/jurnaltin/article/view/47294>
- [7] Dewi, N. P. P. M. S., Bogoriani, N. W., & Suaniti, N. M. 2019. Identifikasi dan Karakterisasi Profil Asam Lemak Virgin Coconut Oil dengan Penambahan Ekstrak Etanol Kunyit Putih (*Curcuma zedoaria* Rosc.). *Chimica et Natura Acta*, 7(3), 125–131.
<https://doi.org/10.24198/cna.v7.n3.26288>
- [8] Sokolenko, S. V., Sokolenko, Y. V., Van, Y. L., Ozymok, M. O., Kobal, I. V., & Sokolenko, V. L. 2024. Hematological Parameters of Domestic Chickens as Stress Reaction Markers Derived from Different Etiologies. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, 15(4), 767–775. <https://doi.org/10.15421/0224111>
- [9] Anggraeni, N., Farajallah, A., & Astuti, D. A. 2016. Blood Profile of Quails (*Coturnix coturnix japonica*) Fed Ration Containing Silkworm Pupae (*Bombyx mori*) Powder Extract. *Media Peternakan*, 39(1), 1–8. <https://doi.org/10.5398/medpet.2016.39.1.1>
- [10] Leeson S and Summers JD. 2009. *Commercial Poultry Nutrition*. Nottingham University Press.
- [11] Widiastuti, Y., Susanti, D. S., & Sofro, M. A. U. 2019. Pengaruh Supplementasi Probiotik dan Selenium terhadap Respons Imun NLR, Hemoglobin, dan Albumin pada Tikus Wistar yang Diinduksi *Mycobacterium tuberculosis*. *Journal of Nutrition College*, 8(1), 38–48. <https://doi.org/10.14710/jnc.v8i1.23811>
- [13] Shakeri, M., Oskoueian, E., Le, H. H., & Shakeri, M. 2020. Strategies to Combat Heat Stress in Broiler Chickens: Unveiling the Roles of Selenium, Vitamin E, and Vitamin C. *Veterinary Sciences*, 7(2), 71. <https://doi.org/10.3390/vetsci7020071>
- [14] Rismawati, D., Hartono, M., Santosa, P. E., & Suharyati, S. 2023. Gambaran Total Leukosit dan Diferensial Leukosit Ayam Kampung Unggul Balitnak (KUB) dengan Pemberian Ekstrak Temulawak (*Curcuma xanthorrhiza*) dalam Air Minum. *Jurnal Riset dan Inovasi Peternakan*, 7(3), 436–443. <https://doi.org/10.23960/jrip.2023.7.3.436-443>
- [15] Lubis, F., Alfianty, R., & Sahara, E. 2015. Pengaruh Suplementasi Selenium Organik dan Vitamin E terhadap Performa Itik Pegagan. *Jurnal Peternakan Sriwijaya*, 4(1). <https://doi.org/10.33230/JPS.4.1.2015.2297>
- [16] Asella. 2017. Pemberian Tepung Daun Mengkudu (*Morinda citrifolia* Linn) terhadap Profil Darah, Kadar Kreatinin, dan Urea Nitrogen Darah Itik Lokal Jantan Umur 12 Minggu. IPB University. <http://repository.ipb.ac.id/handle/123456789/83118>
- [17] Franco, A., et al. 2021. Lipids from *Hermetia illucens*, an Innovative and Sustainable Source. *Sustainability*, 13(18), 10198. <https://doi.org/10.3390/su131810198>

- [18] Gharu, C. P. 2022. Defense Mechanism of Natural Antioxidants Against Free Radicals. *Central Asian Journal of Medical and Natural Science*, 3(5), 163–170. <https://doi.org/10.51699/cajmns.v3i5.1064>
- [19] Poto, R., et al. 2023. Basophils beyond Allergic and Parasitic Diseases. *Frontiers in Immunology*, 14, 1190034. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2023.1190034>
- [20] Thiam, M., Barreto Sánchez, A. L., Zhang, J., Wen, J., Zhao, G., & Wang, Q. 2022. Investigation of the Potential of Heterophil/Lymphocyte Ratio as a Biomarker to Predict Colonization Resistance and Inflammatory Response to *Salmonella enteritidis* Infection in Chicken. *Pathogens*, 11(1), 72. <https://doi.org/10.3390/pathogens11010072>
- [21] Giannetto, A., et al. 2020. *Hermetia illucens* Larvae and Prepupae: Biomass Production, Fatty Acid Profile and Expression of Key Genes Involved in Lipid Metabolism. *Journal of Biotechnology*, 307, 44–54. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2019.10.015>
- [22] Chang, Q., Cai, H., Wei, L., & Lan, R. 2022. Chitosan Oligosaccharides Alleviate Acute Heat Stress-Induced Oxidative Damage by Activating ERK1/2-Mediated HO-1 and GSH-Px Gene Expression in Broilers. *Poultry Science*, 101(1), 101515. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101515>
- [23] Sumanu, V. O., Naidoo, V., Oosthuizen, M. C., & Chamunorwa, J. P. 2022. Adverse Effects of Heat Stress during Summer on Broiler Chickens Production and Antioxidant Mitigating Effects. *International Journal of Biometeorology*, 66(12), 2379–2393. <https://doi.org/10.1007/s00484-022-02372-5>