

Pengaruh Tingkat Protein Kasar terhadap Stabilitas Kualitas Fisik Telur ISA Brown Fase *Late Laying*

Effect of Dietary Crude Protein Level on the Stability of Physical Egg Quality of ISA Brown During the Late Laying Phase

F D S Falah^{1*}, N H Imaniah¹, D F Nugroho¹, M Archadiya¹

Corresponding email:
fadhilahdhanisf@ulm.ac.id

¹Jurusan Peternakan, Fakultas Pertanian, Universitas Lambung Mangkurat, Jl. A. Yani Km.36, Banjarbaru, Kalimantan Selatan, 70714

ABSTRACT

The extension of laying hens' productive lifespan up to 100 weeks is associated with a decline in egg physical quality during the late laying phase due to reduced magnum gland function and impaired liver health, leading to albumen thinning and weakening of the vitelline membrane, which may result in failure to meet SNI 3926:2023 standards. This study aimed to determine the optimal crude protein (CP) level in an isocaloric diet to maintain the stability of egg physical quality in ISA Brown laying hens during the late laying phase. A Completely Randomized Design (CRD) was applied using 100 ISA Brown hens aged 72 weeks, assigned to four dietary protein levels: P1 (16%), P2 (17%), P3 (18%), and P4 (19%) with metabolizable energy of 2650 kcal/kg. Parameters measured included Albumen Index (AI), Haugh Unit (HU), Yolk Index (YI), and eggshell thickness (EST). The results showed that increasing crude protein levels improved AI, HU, and YI, with the highest values observed in P4 (19% CP), resulting in HU (95.96), AI (0.14), and YI (0.47), classifying eggs as Grade I according to SNI 3926:2023. In contrast, a metabolic dip indicating inefficiency was observed at 18% CP (P3), reflected by decreased internal egg quality. Eggshell thickness remained relatively stable across treatments and was categorized as medium shells. In conclusion, a crude protein level of 19% is the most effective formulation for maintaining the stability of egg physical quality in ISA Brown hens during the late laying phase.

Key words: aged hens, crude protein level, egg quality, isa brown, SNI 3926:2023

ABSTRAK

Peningkatan masa produktivitas ayam petelur hingga 100 minggu menghadapi penurunan kualitas fisik telur pada fase *late laying*. Penurunan fungsi kelenjar magnum dan kesehatan hati menyebabkan pengenceran putih telur serta melemahnya membran vitelin, sehingga berisiko tidak memenuhi SNI 3926:2023. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan tingkat protein kasar (PK) yang optimal dalam ransum isokalori untuk mempertahankan stabilitas kualitas fisik telur ayam ISA Brown pada fase akhir masa bertelur. Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan 100 ekor ayam ISA Brown umur 72 minggu yang dibagi ke dalam empat perlakuan tingkat protein kasar (PK), yaitu P1 16%, P2 17%, P3 18%, dan P4 19% dengan energi metabolis 2650 kkal kg⁻¹. Peubah yang diamati meliputi Indeks Putih Telur (IPT), Haugh Unit (HU), Indeks Kuning Telur (IKT), dan ketebalan kerabang (KK). Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan level protein kasar meningkatkan nilai IPT, HU, dan IKT, dengan nilai tertinggi diperoleh pada perlakuan dengan PK 19% (P4), yaitu HU sebesar 95,96, IPT sebesar 0,14, dan IKT sebesar 0,47, sehingga telur termasuk dalam kategori Mutu I berdasarkan SNI 3926:2023. Sebaliknya, pada level PK 18% (P3) teridentifikasi adanya fenomena *metabolic dip* atau inefisiensi metabolik yang ditunjukkan oleh penurunan kualitas internal telur. Ketebalan kerabang relatif stabil pada seluruh perlakuan dan termasuk dalam kategori *medium shells*. Simpulan penelitian ini menunjukkan tingkat protein kasar sebesar 19% merupakan kebutuhan protein ransum yang paling efektif untuk mempertahankan stabilitas kualitas fisik telur ayam ISA Brown pada fase *late laying*.

Kata kunci: ayam petelur tua, ISA Brown, kualitas telur, SNI 3926:2023, tingkat protein kasar



PENDAHULUAN

Industri peternakan ayam petelur global saat ini tengah berupaya keras untuk memperpanjang masa produktivitas ayam hingga mencapai target ambisius, yaitu menghasilkan 500 butir telur dalam 100 minggu masa hidup ayam. Galur petelur modern seperti ISA Brown dipilih karena persistensi produksinya yang sangat tinggi, namun tantangan besar muncul ketika ayam memasuki fase produksi akhir atau *late laying phase* (di atas umur 65 minggu) (van Eck et al. 2023). Pada periode ini, terjadi penurunan integritas fisiologis yang berujung pada degradasi stabilitas kualitas fisik telur, baik secara internal maupun eksternal. Fenomena ini menjadi kendala ekonomi yang krusial bagi peternak karena telur dengan kualitas fisik rendah, seperti putih telur encer dan kerabang rapuh, seringkali ditolak oleh pasar retail atau industri pengolahan makanan cair yang mensyaratkan standar kesegaran tinggi sesuai revisi terbaru SNI 3926:2023.

Penurunan kualitas internal telur pada ayam tua dicirikan oleh pengenceran putih telur (albumen thinning), yang secara objektif diukur melalui Haugh Unit (HU) dan Indeks Putih Telur (IPT) (Chang et al. 2024). Secara struktural, putih telur kental didukung oleh matriks glikoprotein bernama ovomucin (Obianwuna et al. 2022). Seiring bertambahnya usia, terjadi involusi fungsional pada kelenjar tubular di bagian magnum oviduk yang menyebabkan penurunan konsentrasi ovomucin serta protein utama lainnya seperti ovalbumin, yang menyusun sekitar 54% dari total protein albumen (van Eck et al. 2023). Proses degradasi ini diperparah oleh penurunan sensitivitas reseptor estrogen di sel epitel magnum, yang secara sistemik melemahkan sinyal untuk sintesis protein albumen segar (Chang et al. 2024).

Selain masalah pada albumen, integritas kuning telur yang direpresentasikan oleh Indeks Kuning Telur (IKT) juga menunjukkan ketidakstabilan pada fase *late laying*. Kuning telur dibentuk melalui proses vitelogenesis kompleks yang terjadi secara eksklusif di hati (Li et al. 2023). Vitelogenin (VTG) dan lipoprotein densitas sangat rendah (VLDL_y), sebagai prekursor utama kuning telur, disintesis di hepatosit di bawah kendali ketat hormon estrogen (van Eck et al. 2023). Proses ini sangat dipengaruhi oleh ketersediaan nutrisi, khususnya protein ransum sebagai substrat utama sintesis lipoprotein, karena VTG dan VLDL berperan penting dalam deposisi nutrisi ke kuning telur (Yu et al. 2024). Perubahan komposisi nutrisi pakan terbukti dapat memodifikasi kualitas kuning telur, termasuk indeks kuning telur dan stabilitas internal telur (Basudewa et al. 2023). Pada ayam fase *late laying*, gangguan fungsi hati akibat akumulasi lemak dan stres oksidatif semakin menghambat sintesis dan transport VTG serta VLDL_y, sehingga kualitas kuning telur menurun (Anam et al. 2025) dan terjadi akumulasi lemak di hati (*fatty liver syndrome*) serta stres oksidatif yang mengganggu jalur pensinyalan hati, darah, ovarium (Huang et al. 2025).

Gangguan ini menyebabkan berkurangnya viskositas kuning telur dan melemahnya kekuatan membran vitelin, sehingga kuning telur mudah pecah atau menjadi pipih saat telur dibuka.

Intervensi nutrisi melalui peningkatan level protein kasar (PK) ransum menjadi strategi utama untuk memitigasi penurunan fungsi organ reproduksi tersebut. Protein menyediakan asam amino esensial yang tidak hanya berfungsi sebagai unit pembangun albumen dan vitelogenin, tetapi juga sebagai molekul pensinyal metabolisme nitrogen (Chaturanga & Heo 2025). Namun, respons ayam petelur tua terhadap peningkatan protein seringkali bersifat non-linear dan menunjukkan adanya perbedaan respons pada berbagai tingkat protein (Lee et al. 2025). Kesenjangan penelitian mengenai level protein optimal pada ayam ISA Brown fase *late laying* masih cukup nyata, terutama karena level protein menengah dapat menimbulkan inefisiensi akibat meningkatnya ekskresi nitrogen yang menguras energi metabolik (ATP) untuk proses deaminasi amonia di hati (Heo et al. 2023).

Penentuan tingkat protein kasar (PK) pada kondisi ransum isokalori menjadi penting untuk memastikan bahwa respon yang diamati merefleksikan pemanfaatan nitrogen bagi pembentukan komponen fisik telur (Heo et al. 2023). Kebaruan penelitian ini terletak pada identifikasi respons kualitas fisik telur terhadap variasi tingkat protein kasar (PK) pada kondisi ransum isokalori khususnya pada fase *late laying*, yang memengaruhi stabilitas variabel kualitas seperti HU, IPT, dan IKT, serta hubungannya dengan ketebalan kerabang berdasarkan standar Ketta & Tůmová (2018). Tujuan penelitian ini adalah memberikan rekomendasi formulasi ransum presisi yang mampu mempertahankan kualitas fisik telur pada level Mutu I SNI 3926:2023 meskipun ayam telah memasuki akhir masa produksinya.

METODE

Materi Penelitian

Penelitian dilaksanakan selama 10 minggu, mencakup 2 minggu masa adaptasi lingkungan serta ransum basal dan dilanjutkan dengan 8 minggu masa perlakuan intensif (umur 72-80 minggu). Subjek penelitian menggunakan 100 ekor ayam petelur strain ISA Brown berumur 72 minggu. Peralatan mencakup kandang baterai, timbangan digital ketelitian 0,01 g, jangka sorong digital (0,01mm), *digital haugh tester* untuk mengukur haugh unit dan *digital thickness gauge* untuk mengukur ketebalan kerabang.

Prosedur Penelitian

Formula ransum penelitian disusun memiliki tingkat energi metabolik (EM) yang sama (isokalori) pada 2650 kkal kg⁻¹ di seluruh perlakuan guna mengisolasi efek protein kasar sebagai variabel tunggal. Empat perlakuan tingkat protein kasar (PK) yang diuji adalah P1 dengan PK 16%, P2 dengan PK 17%, P3 dengan PK 18%, dan P4 dengan PK 19%. Pemberian ransum ayam melalui masa

Tabel 1 Mutu fisik telur ayam konsumsi (SNI 3926:2023)

Parameter	Mutu I	Mutu II	Mutu III
IPT	0,13 - 0,18	0,09 - 0,13	0,05 - 0,09
IKT	0,46 - 0,52	0,39 - 0,46	0,33 - 0,39
HU	>72	62 - 72	<60

adaptasi 2 minggu sebelum perlakuan utama dimulai pada umur 72 minggu. Pakan dan air diberikan *ad libitum*. Pencahayaan dikontrol pada 16 jam terang dan 8 jam gelap untuk menstimulasi hormon gonadotropin yang bertanggung jawab atas aktivitas ovarium.

Pengambilan Sampel dilakukan pada 3 hari terakhir setiap akhir bulan (Minggu ke-4 dan Minggu ke-8 masa penelitian). Prosedur ini didasarkan pada fisiologi vitelogenesis yang memerlukan waktu maturasi folikel selama 5–7 hari sehingga respon nutrisi tidak bersifat instan terhadap komponen internal telur. Peubah yang diukur adalah sebagai berikut:

1. Indeks Putih Telur (IPT), perbandingan tinggi putih telur kental dengan rata-rata diameter putih telur.
2. Indeks Kuning Telur (IKT), perbandingan tinggi kuning telur dengan diameter kuning telur menggunakan jangka sorong.
3. Haugh Unit (HU), diukur secara otomatis berdasarkan hubungan bobot telur (W) dan tinggi putih telur kental (H) sesuai standar internasional.
4. Ketebalan Kerabang Telur (KK), diukur pada tiga titik berbeda (ujung tumpul, tengah, dan ujung lancip) menggunakan jangka sorong digital setelah selaput dalam dibersihkan.

Data IPT, IKT, HU, dan KK yang diperoleh dikonversi ke dalam klasifikasi mutu berdasarkan SNI 3926:2023 (Tabel 1). Setiap sampel dari P1, P2, P3 dan P4 dievaluasi terhadap standar Mutu I sampai III, sedangkan ketebalan kerabang dikategorikan menurut Ketta & Tůmová (2018) seperti pada Tabel 2 untuk melengkapi profil stabilitas fisik telur.

Rancangan Percobaan dan Analisis Data

Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan 4 perlakuan dan 5 ulangan. Setiap ulangan terdiri dari 5 ekor ayam dengan perlakuan tingkat protein kasar (PK) yang diuji adalah P1 dengan PK 16%, P2 dengan PK 17%, P3 dengan PK 18%, dan P4 dengan PK 19%. Seluruh data yang diperoleh dianalisis menggunakan *Analysis of Variance* (ANOVA) dan apabila diperoleh hasil yang berbeda nyata/sangat nyata dilanjutkan dengan Uji Jarak Berganda Duncan (UJBD) pada taraf kepercayaan 0,05/0,01.

Tabel 2 Standar ketebalan kerabang (Ketta & Tůmová, 2018)

Parameter	Ketebalan kerabang
Thick shells	>0,39
Medium shells	0,33 – 0,38
Thin shells	0,28 – 0,32

HASIL DAN PEMBAHASAN

Respon fisik telur ayam petelur ISA Brown terhadap peningkatan level protein kasar pada kondisi isokalori (ME 2650 kkal kg⁻¹) menunjukkan pola fluktuasi yang tidak linear, mengindikasikan adanya perbedaan respons metabolisme pada berbagai tingkat protein pada fase *late laying*. Data Indeks putih telur, haugh unit, indeks kuning telur, dan ketebalan kerabang serta mutunya pada ayam isa brown fase *late laying* pada berbagai level protein kasar dapat dilihat pada Tabel 3.

Indeks Putih Telur dan Haugh Unit

Indeks putih telur dan haugh unit disajikan pada Tabel 3. Indeks Putih Telur (IPT) dan Haugh Unit (HU) sangat dipengaruhi oleh level protein kasar pakan ($p < 0,01$). Perlakuan PK 19% (P4) menghasilkan nilai HU tertinggi sebesar 95,96, yang menempatkan telur pada kategori Mutu I berdasarkan SNI 3926:2023 (Tabel 3). Temuan ini sangat penting karena pada umur 80 minggu, ayam umumnya mengalami penurunan volume kelenjar magnum dan pengurangan tinggi vili mukosa yang menyebabkan pengenceran putih telur (Chang *et al.* 2024). Peningkatan HU pada P4 menunjukkan bahwa asupan PK 19% menyediakan pasokan asam amino yang melimpah untuk memacu sintesis protein fungsional seperti ovomucin dan ovalbumin di kelenjar tubular magnum (Sah *et al.* 2021).

Secara fisiologis, kesegaran albumen ditentukan oleh anyaman glikoprotein ovomucin yang memerangkap protein cair (Obianwuna *et al.* 2022). Seiring bertambahnya usia ayam, sintesis mRNA untuk protein ovomucin menurun akibat berkurangnya sensitivitas reseptor estrogen di oviduk (Chang *et al.* 2024). Hasil penelitian ini mengindikasikan bahwa PK 19% berperan sebagai tingkat protein yang optimal dalam mengkompensasi penurunan dorongan hormonal melalui peningkatan konsentrasi asam amino dalam darah (*plasma pool*), yang kemudian dimanfaatkan oleh sel epitel oviduk untuk pembentukan albumen (Chang *et al.* 2024). Hal ini diperkuat oleh Septiawan *et al.* (2024) yang menyatakan bahwa nutrisi yang tepat pada ayam petelur umur 84 minggu dapat memulihkan integritas internal telur.

Nilai HU pada P3 (protein kasar ransum 18 %) yang rendah diidentifikasi sebagai *metabolic dip* atau zona inefisiensi metabolik. Pada level 18%, kondisi ini diduga terjadi akibat ketidakseimbangan asam amino dalam ransum, karena peningkatan protein kasar tidak diikuti oleh ketersediaan asam amino pembatas yang optimal untuk pembentukan telur. Akibatnya, sebagian nitrogen tidak dimanfaatkan untuk sintesis protein telur, tetapi dideaminasi di hati menjadi amonia yang kemudian dikonversi menjadi asam urat untuk diekskresikan, yang berimplikasi pada peningkatan ekskresi nitrogen dan penurunan efisiensi pemanfaatan protein

Tabel 3 Indeks putih telur, haugh unit, indeks kuning telur, dan ketebalan kerabang serta mutunya pada ayam ISA Brown fase *late laying* pada berbagai level protein lasar

Parameter	P1	P2	P3	P4
IPT	0,11 ± 0,02 ^{ab}	0,13 ± 0,01 ^b	0,10 ± 0,01 ^a	0,14 ± 0,01 ^b
HU	90,91 ± 6,41 ^{ab}	93,82 ± 2,08 ^b	84,23 ± 4,17 ^a	95,96 ± 1,94 ^b
IKT	0,45 ± 0,02 ^{ab}	0,46 ± 0,02 ^{ab}	0,43 ± 0,03 ^a	0,47 ± 0,01 ^b
KK	0,34 ± 0,02	0,35 ± 0,01	0,33 ± 0,01	0,34 ± 0,03
Mutu IPT	Mutu II	Mutu II	Mutu II	Mutu I
Mutu HU	Mutu I	Mutu I	Mutu I	Mutu I
Mutu IKT	Mutu II	Mutu II	Mutu II	Mutu I
Mutu KK	<i>Medium shells</i>	<i>Medium shells</i>	<i>Medium shells</i>	<i>Medium shells</i>

IPT: Indeks putih telur, HU: haugh unit, IKT: indeks kuning telur, dan KK: ketebalan kerabang. P1=PK 16%, P2=PK 17%, P3=PK 18%, P4=PK 19%. Superskrip yang berbeda pada baris yang sama menunjukkan hasil yang berbeda sangat nyata ($p < 0,01$).

(Oketch *et al.* 2026). Ketidakseimbangan asam amino juga diketahui dapat menurunkan kualitas telur, termasuk peubah albumen seperti Haugh Unit, karena sintesis protein telur tidak berlangsung optimal (Joshi *et al.* 2019). Penurunan tajam HU pada P3 menunjukkan bahwa ayam fase tua lebih sensitif terhadap perubahan komposisi nutrisi ransum, di mana kualitas internal telur sangat dipengaruhi oleh kecukupan dan keseimbangan nutrisi (*Basudewa et al.* 2023).

Indeks Kuning Telur

Indeks Kuning Telur (IKT) mencerminkan kekentalan kuning telur dan kekuatan membran vitelin. Hasil penelitian pada Tabel 3 menunjukkan P4 (19% PK) memberikan nilai IKT tertinggi (0,47), sementara P3 (18% PK) menunjukkan nilai terendah (0,43). Perlakuan P4 mencapai kriteria Mutu I berdasarkan standar SNI 3926:2023.

Pada ayam petelur fase *late laying* (72–80 minggu), hati seringkali mengalami penurunan kapasitas fungsional akibat akumulasi lemak (*fatty liver*) dan stres oksidatif (Huang *et al.* 2025). Keberhasilan P4 dalam meningkatkan IKT menunjukkan bahwa level PK 19% menyediakan prekursor lipoglycophosphoprotein yang memadai untuk mendukung vitelogenesis hepatis yang optimal meskipun fungsi seluler hati mulai menurun (Omer *et al.* 2018). Peningkatan asupan protein ini mendukung stabilitas transportasi nutrisi dari hati melalui sirkulasi darah menuju folikel ovarium (Li *et al.* 2023).

Sijung *et al.* (2023) menekankan bahwa kualitas telur sangat bergantung pada pemenuhan nutrisi mikro dan makro. Dalam konteks kuning telur, ketersediaan asam amino esensial seperti metionin dan lisin dari level PK 19% kemungkinan berperan sebagai donor gugus metil yang membantu memobilisasi lemak dari hati (efek lipotropik), sehingga kesehatan hepatosit terjaga dan proses vitelogenesis tetap stabil (Omer *et al.* 2018). Dalam formulasi ransum, keseimbangan lisin dan metionin menjadi komponen penting karena keduanya merupakan asam amino pembatas yang menentukan efisiensi pemanfaatan protein dan deposisi nutrisi ke dalam kuning telur, sehingga berpengaruh langsung terhadap kualitas telur (Brasileira *et al.* 2012; Mohapatra *et al.* 2018). Metionin berperan dalam pembentukan S-adenosilmetionin (SAM) yang mendukung metabolisme

lipid hati, sedangkan lisin berperan dalam sintesis protein dan efisiensi retensi nitrogen. Sebaliknya, inefisiensi pada P3 kembali mengonfirmasi adanya gangguan partisi nutrisi yang merugikan pembentukan kuning telur pada fase kritis penebaran (Huang *et al.* 2025). Kondisi ini diduga berkaitan dengan ketidakseimbangan lisin dan metionin dalam ransum, yang menyebabkan sebagian nitrogen tidak dimanfaatkan secara optimal dan meningkatkan proses deaminasi di hati, sehingga menurunkan efisiensi metabolisme serta berdampak pada penurunan kualitas kuning telur (Santana *et al.* 2021).

Ketebalan Kerabang

Kualitas eksternal yang diukur melalui ketebalan kerabang (KK) menunjukkan hasil yang relatif stabil di seluruh perlakuan pada Tabel 3. Nilai KK berkisar antara 0,33 mm (P3) hingga 0,35mm (P2). Berdasarkan klasifikasi Ketta & Tůmová (2018), seluruh perlakuan menghasilkan kerabang dengan kategori "*Medium shells*". Terdapat tren numerik di mana P3 menghasilkan kerabang paling tipis, konsisten dengan penurunan kualitas internal pada level protein yang sama.

Hubungan antara protein dan kerabang telur memiliki peran penting dalam pembentukan struktur kerabang karena sekitar 2–4% struktur kerabang merupakan matriks organik protein, termasuk ovocleidin dan serat kolagen (Zhao *et al.* 2016). Matriks ini berfungsi sebagai kerangka (*scaffold*) untuk kalsifikasi kalsium karbonat (CaCO_3) di uterus. Stabilitas KK menunjukkan bahwa kebutuhan dasar asam amino untuk pembentukan matriks organik kerabang sudah terpenuhi minimal oleh level PK 16% (P1). Faktor pembatas utama pada ketebalan kerabang ayam tua sebenarnya bukan pada protein, melainkan pada penurunan efisiensi absorpsi kalsium di usus halus dan mobilisasi kalsium dari tulang meduler yang dikendalikan oleh vitamin D3 (Habig *et al.* 2021).

Wahyudi *et al.* (2022) menyoroti pentingnya estimasi nutrisi yang akurat untuk menghindari pemborosan nitrogen. Hasil ini mengindikasikan bahwa peningkatan protein hingga 19% tidak memberikan beban tambahan yang merusak kalsifikasi, namun juga tidak meningkatkan ketebalan secara signifikan melampaui kapasitas fisiologis mineralisasi ayam umur 80 minggu. Hal ini menunjukkan bahwa pembentukan kerabang

telur lebih dipengaruhi oleh ketersediaan dan metabolisme mineral, terutama kalsium dan fosfor, dibandingkan oleh level protein ransum. Beberapa penelitian melaporkan bahwa peningkatan kualitas dan ketebalan kerabang lebih responsif terhadap sumber, ukuran partikel, dan waktu pemberian kalsium dalam ransum dibandingkan peningkatan protein kasar (Saki *et al.* 2019). Selain itu, pada fase *late laying*, kemampuan ayam dalam memanfaatkan kalsium cenderung stabil dan tidak meningkat seiring dengan peningkatan protein, sehingga ketebalan kerabang relatif konstan meskipun terjadi variasi level protein (Hanlon *et al.* 2022). Dengan demikian, level protein 19% tidak secara langsung berkontribusi terhadap peningkatan ketebalan kerabang, melainkan lebih berperan pada kualitas internal telur. Namun, menjaga stabilitas ketebalan kerabang pada kisaran 0,34–0,35 mm tetap penting untuk meminimalkan risiko telur retak yang sering terjadi pada fase akhir produksi (Ketta & Tůmová 2018).

SIMPULAN

Tingkat protein kasar sebesar 19% (P4) pada kondisi ransum isokalori mampu mempertahankan stabilitas kualitas fisik telur ayam ISA Brown fase *late laying*. Teridentifikasi adanya inefisiensi metabolik (*metabolic dip*) pada level PK 18% (P3) yang menyebabkan penurunan pada parameter kualitas internal telur.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional. 2023. SNI 3926-2023 Telur Ayam Konsumsi. Jakarta(ID): Badan Standarisasi Nasional.
- Anam MS, Muslykha U, Sadid MM, Noviandi CT, Astuti A, Paradhipta DHV & Agus, A. 2025. Effects of microalgae supplementation on performance, egg quality, yolk fatty acid levels, and blood parameters in laying hens: A Meta-Analysis. *Scientific Reports*, 15(1), 1. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-28515-3>
- Basudewa IGB, Astawa IPA, Cakra IGLO & Nuriyasa IM. 2023. Physical and chemical quality of chicken eggs (Lohman brown strains) feed conventional feed with the addition of lemuru fish oil. *International Journal of Life Sciences*, 7(1): 1–9. <https://doi.org/10.53730/ijls.v7n1.13829>
- Brasileira R, Domingues A, de F, C. H., Filho M & Adress M. 2012. Lysine and methionine + cystine for laying hens during the post-molting phase. *Brazilian Journal of Poultry Science*, 14(3) : 187–192. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=179724984005>
- Chang X, Wang BB, Zhang H, Qiu K & Wu S. 2024. The change of albumen quality during the laying cycle and its potential physiological and molecular basis of laying hens. *Poultry Science*, 103(10): 104004 <https://doi.org/10.1016/j.psj.2024.104004>
- Chathuranga NC & Heo JM. 2025. The impact of dietary protein intake of laying hens on production performance, health and nitrogen excretion: A Review. *Korean Journal of Poultry Science*, 52(3) : 151–167. <https://doi.org/10.5536/KJPS.2025.52.3.151>
- Habig C, Weigend A, Baulain U, Petow S & Weigend S. 2021. Influence of age and phylogenetic background on blood parameters associated with bone metabolism in laying hens. *Frontiers in Physiology*, 12. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.678054>
- Hanlon C, Takeshima K, Kiarie EG & Bédécarrats GY. 2022. Bone and eggshell quality throughout an extended laying cycle in three strains of layers spanning 50 years of selection. *Poultry Science*, 101(3): 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101672>
- Heo YJ, Park J, Kim YB, Kwon BY, Kim DH, Song JY & Lee KW. 2023. Effects of dietary protein levels on performance, nitrogen excretion, and odor emission of growing pullets and laying hens. *Poultry Science*, 102(8): 102798 <https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.102798>
- Huang Z, Liu H, Wang G, Ge H, Shi Y, Feng J, Li C & Zhang M. 2025. Dietary glycyrrhizin enhances reproductive performance by improving intestinal microbiota, liver lipid metabolism and ovarian senescence in aged breeder hens. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 16(1) : 156 <https://doi.org/10.1186/s40104-025-01288-5>
- Joshi N, Wandita TG, Yang S, Park H & Hwang SG. 2019. Effects of supplementing laying hens with purified amino acid prepared from animal blood. *Tropical Animal Science Journal*, 42(1): 46–52. <https://doi.org/10.5398/tasi.2019.42.1.46>
- Ketta M & Tůmová E. 2018. Relationship between eggshell thickness and other eggshell measurements in eggs from litter and cages. *Italian Journal of Animal Science*, 17(1): 234–239. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2017.1344935>
- Lee J, Oh S, Oketch EO, Nawarathne SR, Kim Y Bin, Chathuranga NC, Maniraguha V, Cruz BGS, Seo E, Park H, Choi H, Kim JK, Lee DJ, Yu M & Heo JM. 2025. Dietary protein level in response to nitrogen balance along with production performance of laying hens. *Journal of Animal Science and Technology*, 67(6): 1313–1327. <https://doi.org/10.5187/jast.2500223>
- Li H, Hou Y, Hu J, Li, J, Liang Y, Lu Y & Liu X. 2023. Dietary naringin supplementation on hepatic yolk precursors formation and antioxidant capacity of three-yellow breeder hens during the late laying period. *Poultry Science*, 102(5)102605 <https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.102605>
- Mohapatra S, Babu LK, Panigrahi B, Karna DK, Samal P & Panda AK. 2018. Effect of methionine and lysine supplementation to low protein diet and its influence on production performance, egg quality and egg composition of vanaraja laying hens. *The Pharma Innovation Journal*, 7(6) : 229–233. www.thepharmajournal.com
- Obianwuna UE, Oleforuh-Okoleh VU, Wang J, Zhang HJ, Qi GH, Qiu K & Wu SG. 2022. Natural products of plants and animal origin improve albumen quality of chicken eggs. In *Frontiers in Nutrition* 9. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.875270>
- Oketch elijah O, Yu M, Nawarathne SR, Chathuranga NC, Lee J, Park H, Lee BK, Kim KE & Heo JM. 2026. Laying hen responses to balanced protein reduction on performance, egg quality, nitrogen balance, and fat and mineral utilization. *Journal of Animal Science*, 104(1): 1–11. <https://doi.org/10.1093/jas/skaf465>
- Omer NA, Hu Y, Hu Y, Idriss AA, Abobaker H, Hou Z, Dong H & Zhao R. 2018. Dietary betaine activates hepatic VTGII expression in laying hens associated with hypomethylation of GR gene promoter and enhanced GR expression. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 9(1). <https://doi.org/10.1186/s40104-017-0218-9>
- Sah N, Kuehu DL, Khadka VS, Deng Y, Jha R, Wasti S & Mishra B. 2021. RNA sequencing-based analysis of the magnum tissues revealed the novel genes and biological pathways involved in the egg-white formation in the laying hen. *BMC Genomics*, 22(1). <https://doi.org/10.1186/s12864-021-07634-x>
- Saki A, Rahmani A & Yousefi A. 2019. Calcium particle size and feeding time influence egg shell quality in laying hens. *Acta Scientiarum - Animal Sciences*, 41(1): 1–7. <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v41i1.42926>
- Santana MHM, Costa FGP, Guerra RR, Givisiez PENJúnior JPF & deLima MR . 2021. Methionine plus cystine levels for light laying hens on production phase. *Research, Society and Development*, 10(2) : 1–13. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i2.12817>
- Septiawan A, Sumiati & Mutia R. 2024. Evaluasi pemberian infusa daun kelor (Moringa Oleifera) terhadap performa, kualitas telur dan status kesehatan ayam petelur strain lohmann brown. *Jurnal Ilmu Nutrisi dan Teknologi Pakan*, 22(3): 136–143. <https://doi.org/10.29244/jintp.22.3.136-143>
- Sijung MD, Hermana W, Sukria HA, Astuti DA & Suci DM. 2023. Evaluasi suplementasi tepung daun kelor (Moringa oleifera L.) terhadap performa, kualitas fisik, vitamin A. *Jurnal Ilmu Nutrisi dan*

- Teknologi Pakan*, 21(3): 180–187.
<https://doi.org/10.29244/jintp.21.3>
- Van Eck LM, Enting H, Carvalhido IJ, Chen H & Kwakkel RP. 2023. Lipid metabolism and body composition in long-term producing hens. *World's Poultry Science Journal* 79 (2): 243–264.
<https://doi.org/10.1080/00439339.2023.2189206>
- Wahyudi FT, Sumiati & Hermana W. 2022. Model pendugaan energi metabolis pakan dan bahan pakan ayam broiler berdasarkan analisis proksimat dan energi bruto. *Jurnal Ilmu Nutrisi dan Teknologi Pakan*, 20(3): 104–110.
<https://doi.org/10.29244/jintp.20.3.104-110>
- Yu AC, Deng YH, Long C, Sheng XH, Wang XG, Xiao LF, Lv XZ, Chen XN, Chen L & Qi X L. 2024. High dietary folic acid supplementation reduced the composition of fatty acids and amino acids in fortified eggs. *Foods* 13(7): 1–18. <https://doi.org/10.3390/foods13071048>
- Zhao JP, Zhang Q, Jiao HC, Wang XJ, Jiang MJ, Luo H & Lin H. 2016. Ovalbumin expression in the oviduct magnum of hens is related to the rate of egg laying and shows distinct stress-type-specific responses. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 100(5) : 876–883. <https://doi.org/10.1111/jpn.12475>