

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Bawang merah memiliki hasil samping berupa kulit bawang merah yang memiliki potensi sebagai sumber quercetin (flavonoid). Flavonoid dapat dimanfaatkan sebagai campuran pakan pada itik pedaging untuk menurunkan kadar kolesterol daging. Landasan ilmiah mengenai bahan, mekanisme biologis, dan praktik pakan fungsional yang relevan dengan tujuan penurunan kolesterol pada itik. Uraian diawali dengan karakteristik kulit bawang merah sebagai sumber quercetin dan persepsi masyarakat terhadap keberadaan kulit bawang merah, dilanjutkan dasar biologis penurunan kolesterol unggas melalui poros antioksidan–lipid, dan diakhiri konsep pakan fungsional berbasis flavonoid beserta implikasi formulasi, kendali mutu, dan *endpoint* evaluasi.

A. Kulit Bawang Merah (*Allium Ascolanium. Var. Aggregatum*): Umum, Ketersediaan, Kandungan, dan Kegunaan

Bawang merah merupakan salah satu tanaman penting di antara semua komoditas hortikultura dan menempati urutan kedua setelah tomat dalam hal produksi global (Sagar et al., 2022). Kulit bawang merah (*Allium Ascolanium*) merupakan bagian terluar yang melapisi umbi bawang merah. Kulit bawang merah termasuk limbah yang dihasilkan dari bawang merah. Kulit bawang merah (*Allium*

Ascolanium) merupakan salah satu limbah rumah tangga yang sangat jarang dimanfaatkan oleh masyarakat (Mardiah et al., 2017).

1. Kulit Bawang Merah

Kulit bawang (lapisan terluar yang kering dan tidak termakan) merupakan fraksi limbah terbesar dari pascapanen/pengolahan bawang dan dikenal sebagai sumber flavonol terutama quercetin dengan kadar jauh lebih tinggi dibandingkan daging umbi (Stoica et al., 2023). Pada fraksi daging, quercetin terutama hadir sebagai glikosida (misalnya quercetin-3,4'-O-diglukosida dan quercetin-4'-O-glukosida), sedangkan kulit kering didominasi bentuk aglikon (Terao, 2023). Karakter ini menjadikan kulit bawang sebagai kandidat bahan baku bioaktif bernilai tambah untuk pangan, pakan, dan bioproduk fungsional (Bains et al., 2023; Paesa et al., 2022). Pernyataan dominasi flavonoid pada lapisan luar, termasuk kontribusi >80% terhadap total flavonoid umbi telah dilaporkan dalam telah mutakhir (Stoica et al., 2023).

Tingginya minat konsumsi terhadap bawang merah yang telah di bersihkan dari kulitnya membuat dampak terhadap lingkungan yakni timbulnya sampah kulit bawang merah yang dianggap tidak memiliki nilai ekonomis lagi. Sampah kulit bawang yang lama kelamaan menjadi masalah besar bagi warga, karena hanya dibiarkan menumpuk tanpa dimanfaatkan kembali. Masih banyak Masyarakat yang belum mengetahui kandungan dan manfaat dari limbah kulit bawang tersebut (Nurihardiyanti et al., 2022). Karakteristik limbah industri bawang merah ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Karakteristik Limbah Bawang Merah

Parameter (dry matter)	Onion waste			
	Inner scales	Outer scales	Top-bottoms	Peel
Moisture content (%)	–	8.2	9.21	–
Crude protein (g/100 g)	–	2.64–9.30	8.76–15.60	–
Potassium (mg/g)	15.7–15.9	12.8–13.9	11.0–13.0	4.2–7.3
Calcium (mg/g)	1.8–3.5	4.2–7.8	10.2–16.5	22.1–30.7
Magnesium (mg/g)	0.6–0.7	0.7–0.8	1.4–1.5	1.1–1.5
Iron ($\mu\text{g/g}$)	19.6–43.6	19.6–19.6	426.7–888.9	119.8–419.4
Manganese ($\mu\text{g/g}$)	6.5–11.5	6.6–8.1	20.2–28.8	8.3–25.3
Zinc ($\mu\text{g/g}$)	16.2–28.4	18.6–26.8	50.4–53.8	14.9–21.6
Selenium ($\mu\text{g/g}$)	0.13–0.93	0.06–0.18	0.03–0.43	0.05–0.90
Sucrose (mg/g)	57–65	38–51	26–35	–
Glucose (mg/g)	221–230	110–210	37–39	–
Fructose (mg/g)	202–205	103–195	39–51	–

(Benítez et al., 2011; Sharma et al., 2016)

2. Ketersediaan dan Pasokan

Ketersediaan kulit bawang ditentukan oleh skala produksi dan pola pengolahan (sortasi, kupas, dan pengeringan). Secara global, produksi bawang terus meningkat, berbagai kompilasi statistik menempatkan produksi dunia >100 juta ton/tahun, yang mengindikasikan aliran limbah kulit yang besar untuk divalorisasikan (FAO, 2023). Indonesia menunjukkan produksi >1,9–2,0 juta ton/tahun dalam beberapa tahun terakhir, sehingga potensi pasokan kulit di tingkat daerah dan sentra pengolahan relatif melimpah (Tridge (FAO series), 2023). Variabilitas musiman, praktik pascapanen, dan perbedaan varietas (bawang

merah/shallot vs bawang bombai) memengaruhi rasio kulit umbi serta kadar air yang menentukan efisiensi pengangkutan dan ekstraksi. Ringkasan faktor pasokan dirangkum pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Rantai Kulit Bawang Merah

Aspek	Rincian operasional	Implikasi untuk penelitian/pemanfaatan
Skala produksi	Produksi global >100 Mt/tahun; Indonesia ~2 Mt/tahun (indikatif)	Aliran limbah kulit relatif besar untuk bioproses
Titik kumpul limbah	Sortasi/kupas di sentra budidaya, pasar induk, industri pengolahan	Konsolidasi bahan baku → efisiensi logistik
Musim & varietas	Variasi varietas (shallot vs bombai) & musim panen	Variasi rasio kulit:umbi & kadar air
Penanganan pasca panen	Pengeringan, ventilasi, sanitasi	Stabilitas senyawa & pencegahan kontaminasi
Regulasi & mutu	Standar kebersihan bahan asal limbah	Kepatuhan untuk aplikasi pangan/pakan

(Sumber: Tridge, 2023)

3. Kandungan Kimia dan Karakter Bioaktif

Kulit bawang kaya polifenol (terutama quercetin dan turunannya), serta mengandung asam fenolat (misal ferulat, vanilat), flavonoid lain (kaempferol), pigmen (antosiansin pada varietas merah/ungu), serat pangan dan komponen dinding sel (lignoselulosa) yang berpotensi sebagai ko-polimer/bahan kemasan aktif (Ateeq et al., 2023; Joković et al., 2024; Paesa et al., 2022). Hasil penelitian melaporkan kestabilan relatif quercetin pada kulit bawang kering selama penyimpanan (suhu 4–40 °C; terang/gelap; kondisi kering) mendukung klaim ketahanan bahan baku sebelum diekstraksi (Fan et al., 2024). Matriks kulit bawang memuat aglikon quercetin yang mudah terakses (tidak dalam bentuk kristal terpisah), sehingga diekstraksi relatif efisien (Wiczowski, W., Romaszko, J.,

Piskula, 2008). Tabel 4 merangkum profil kimia yang paling sering dilaporkan beserta karakter bioaktif.

Tabel 4. Profil Kimia Kulit Bawang Merah

Kelompok senyawa	Contoh utama	Catatan ilmiah singkat
Flavonol	Quercetin (aglikon), quercetin-4'-O-glukosida, quercetin-3,4'-O-diglukosida	Aglikon dominan pada kulit kering; glikosida dominan pada daging umbi
Asam fenolat	Ferulat, vanilat, p-kumarat	Kontribusi antioksidan & potensi antimikroba
Flavonoid lain	Kaempferol (jejak-moderat)	Sinergi dengan quercetin pada kapasitas antioksidan
Pigmen	Antosianin (varietas merah/ungu)	Sumbang aktivitas antioksidan & pewarna alami
Makrokomponen	Serat, lignoselulosa	Aplikasi biokomposit/kemasan aktif; pengikat air/lemak

(Sumber: Ateeq et al., 2023; Joković et al., 2024; Paesa et al., 2022)

Implikasi bioaktivitas pada ekstrak kulit bawang menunjukkan aktivitas penangkal radikal dan antiproliferatif *in vitro*. Beberapa fraksi memperlihatkan kandungan fenolik total ratusan mg GAE per gram ekstrak, serta aktivitas antioksidan kuat (Paesa et al., 2022). Sebagian telaah menekankan quercetin sebagai komponen dominan baik dalam bentuk aglikon maupun mono/di-glikosida, bergantung pada bagian umbi dan proses (Joković et al., 2024; Terao, 2023).

4. Kegunaan dan Arah Pemanfaatan

Ekstrak kulit bawang dapat berfungsi sebagai antioksidan alami untuk memperlambat oksidasi lipid pada pangan berlemak, sekaligus kandidat agen antimikroba dalam edible films/kemasan aktif berbasis polisakarida/lignoselulosa (Ateeq et al., 2023; Joković et al., 2024). Bioproses dan penggunaan pelarut hijau dapat diterapkan dengan pendekatan biorefinery termasuk *subcritical water extraction* dan *deep eutectic solvents (DES)* dilaporkan efektif mengekstrak fenolik

dari limbah kulit, sejalan dengan ekonomi sirkular dan efisiensi proses (Trigueros et al., 2024).

Ekstrak kulit bawang merah kaitannya dengan pakan dan kesehatan hewan terutama pada spesies unggas berfungsi sebagai fraksi kaya quercetin yang dipertimbangkan sebagai bahan aditif pakan fungsional untuk meningkatkan status antioksidan jaringan. Ekstrak kulit bawang merah secara konseptual dan mekanisme terkait berpotensi menurunkan kolesterol melalui pemutusan peroksidasi lipid, modulasi absorpsi kolesterol usus (NPC1L1), dan penguatan RCT (Paesa et al., 2022; Stoica et al., 2023). Tabel 5 menunjukkan peta pemanfaatan dan rasional mekanistiknya.

Tabel 5. Peta pemanfaatan kulit bawang dan rasional mekanistik

Bidang aplikasi	Bentuk/teknologi	Rasional ilmiah
Antioksidan pangan	Ekstrak fenolik; fraksi quercetin	Menekan peroksidasi lipid; memperpanjang <i>shelf-life</i>
Kemasan aktif	Edible film/biokomposit lignoselulosa	Antioksidan/antimikroba; migrasi terkontrol
Bahan pakan	Tepung/ekstrak kaya quercetin	Peningkatan status antioksidan; potensi modulasi lipid
Biorefinery	SWE, DES, ultrasonikasi, mikroenkapsulasi	Efisiensi ekstraksi; stabilitas & <i>delivery</i> senyawa
Kesehatan manusia (in-vitro/eksplorasi)	Ekstrak/komponen murni	Antioksidan/antiproliferatif (lanjutan uji pra-klinis diperlukan)

(Sumber: Paesa et al., 2022; Stoica et al., 2023)

Berdasarkan kajian di atas, dapat ditarik beberapa kesimpulan penting yaitu:

(1) kulit bawang merupakan sumber quercetin yang lebih pekat daripada daging umbi, dengan dominasi aglikon pada kulit kering (Terao, 2023; Wiczowski, W., Romaszko, J., Piskula, 2008); (2) skala produksi global dan nasional menyiratkan ketersediaan pasokan limbah yang memadai untuk valorisasi; dan (3) korpus literatur mendukung potensi aplikasi pangan/pakan berbasis fenolik untuk antioksidan dan modulasi lipid, yang pada konteks unggas (termasuk itik) mengarah

pada hipotesis penurunan kolesterol. Temuan ini menegaskan rasional ilmiah pemanfaatan kulit bawang merah sebagai sumber quercetin untuk suplemen pakan fungsional.

5. Persepsi Masyarakat

Persepsi masyarakat terhadap limbah bawang merah beragam mulai dari yang mencerminkan potensinya sebagai sumber daya yang berharga sekaligus statusnya sebagai produk samping yang tidak diinginkan. Limbah bawang merah pada satu sisi diakui potensinya dalam praktik berkelanjutan seperti pengembangan bahan pakan fungsional, akan tetapi limbah bawang merah sering dianggap sebagai sesuatu yang tidak sesuai dengan budaya, produk sampingan dari konsumsi yang perlu dikelola atau dibuang. Persepsi ganda ini menyoroti hubungan kompleks antara limbah dan nilai-nilai sosial di mana limbah bawang merah dapat menjadi gangguan sekaligus sumber daya tergantung pada konteks dan interpretasi budaya.

Pemanfaatan kulit bawang merah dengan pemanfaatan teknologi seperti pemanfaatan limbah kulit bawang melalui teknik ekstraksi canggih yang menghasilkan produk bernilai tambah yang dapat diaplikasikan di berbagai industri. Teknik ini meningkatkan hasil senyawa bioaktif, yang memiliki potensi penggunaan dalam bidang farmasi dan nutrasetika (Bains et al., 2023). Contoh pemanfaatan lainnya digunakan sebagai pestisida alami untuk mengurangi ketergantungan pada alternatif kimia dan mendorong keberlanjutan lingkungan. Inisiatif ini telah meningkatkan kesadaran publik akan manfaat pemanfaatan limbah pertanian secara bertanggung jawab, sejalan dengan Tujuan Pembangunan

Berkelanjutan (SDGs) terkait konsumsi dan produksi yang bertanggung jawab (Hendra Maulana et al., 2024). Limbah bawang merah terutama kulitnya kaya akan senyawa bioaktif seperti flavonoid dan asam fenolik. Senyawa ini memiliki manfaat kesehatan yang signifikan, termasuk sifat antioksidan dan anti-inflamasi, menjadikan limbah bawang sebagai sumber daya yang berharga bagi industri pangan fungsional (Meenakshi et al., 2024; Stoica et al., 2023).

Kulit bawang merah sering dianggap sebagai "benda yang tidak pada tempatnya", yang mencerminkan batasan sosial antara yang bermanfaat dan yang tidak diinginkan. Persepsi ini dipengaruhi oleh keyakinan dan nilai-nilai budaya yang dapat sangat bervariasi di berbagai masyarakat (Fakunle, 2025a). Kesadaran masyarakat akan dampak lingkungan, sosial, dan ekonomi dari limbah, termasuk limbah bawang merah mendorong upaya untuk mengurangi sampah melalui perencanaan dan pemanfaatan sisa makanan yang lebih baik (Cizilio Schiffler et al., 2023).

Persepsi umum negara-negara berpenghasilan rendah dan menengah terhadap limbah bawang merah menimbulkan tantangan yang signifikan. Strategi untuk mengelola sampah ini sangat penting untuk mengatasi masalah ketahanan pangan dan lingkungan di wilayah ini (Fakunle, 2025b). Kulit bawang merah meskipun sering dianggap mengganggu, tetapi potensinya sebagai sumber daya semakin diakui. Pergeseran persepsi ini didorong oleh meningkatnya kesadaran akan manfaat lingkungan dan kesehatan dari pemanfaatan limbah bawang, serta peluang ekonomi yang ditawarkannya. Namun, dimensi budaya dan sosial dari persepsi limbah tetap kompleks, dipengaruhi oleh beragam keyakinan dan nilai.

Memahami dimensi-dimensi ini penting untuk mengembangkan strategi pengelolaan limbah yang efektif, peka budaya, dan berkelanjutan.

B. Penurunan Kolesterol Pada Unggas (Itik) Melalui Mekanisme Antioksidan

Penurunan kolesterol pada unggas khususnya itik melalui mekanisme antioksidan melibatkan penggunaan berbagai aditif pakan alami yang memiliki sifat penurun kolesterol. Aditif ini seringkali mengandung senyawa bioaktif seperti flavonoid yang dapat memengaruhi metabolisme lipid dan menurunkan kadar kolesterol pada itik. Hubungan antara kolesterol, flavonoid, dan antioksidan pada unggas menunjukkan bahwa flavonoid sebagai senyawa bioaktif berperan penting sebagai antioksidan yang dapat menurunkan kadar kolesterol darah unggas melalui beberapa mekanisme biokimia (Feng et al., 2023b; Jaya et al., 2019).

1. Parameter Kolesterol dan Relevansi Mutu Produk

Kolesterol pada unggas umumnya dinilai pada dua matriks utama yaitu serum dan jaringan daging karena keduanya merefleksikan homeostasis lipid sistemik sekaligus mutu gizi produk (C. Deng et al., 2024a). Itik pedaging berfokus pada kolesterol serum dan kolesterol daging yang memiliki implikasi praktis bagi intervensi nutrisi serta nilai tambah produk daging rendah kolesterol dalam rantai pasok (Tu et al., 2025). Terminologi teknis dan daftar istilah kunci disajikan pada Tabel 6 untuk digunakan menjadi rujukan cepat ketika akronim seperti NPC1L1, SR-BI, RCT, dan penanda oksidatif TBARS/MDA digunakan (C. Deng et al., 2024a; Jia et al., 2011; Ren et al., 2018b).

Tabel 6. Terminologi dan Istilah Kunci Parameter Kolesterol Unggas

Singkatan	Istilah	Definisi singkat
VLDL	Very-Low-Density Lipoprotein	Partikel pembawa trigliserida dari hati ke jaringan
LPL	Lipoprotein Lipase	Enzim hidrolisis trigliserida pada permukaan endotel
HDL	High-Density Lipoprotein	Partikel untuk RCT (pengangkutan kolesterol kembali ke hati)
RCT	Reverse Cholesterol Transport	Jalur pemindahan kolesterol perifer menuju hati
NPC1L1	Niemann-Pick C1-Like 1	Transporter absorpsi kolesterol pada enterosit
SR-BI	Scavenger Receptor Class B type I	Reseptor pengambilan selektif HDL-C di hati
PPAR γ /LXR α	Nuclear receptors	Pengatur ekspresi gen lipid (mis. SR-BI, ABCA1)
Nrf2	Transcription factor	Pengatur gen antioksidan (SOD/CAT/GPx)
TBARS/MDA	Penanda peroksidasi lipid	Indikator kerusakan oksidatif lipid membran

(Sumber: C. Deng et al., 2024a; Jia et al., 2011; Ren et al., 2018b)

2. Biokimia Lipid pada Unggas

Hati merupakan pusat lipogenesis dan perakitan VLDL dan distribusi trigliserida ke jaringan dimediasi LPL, sedangkan HDL menjalankan *reverse cholesterol transport (RCT)* untuk mengangkut kolesterol kembali ke hati (C. Deng et al., 2024a). Hepatosit, SR-BI memfasilitasi pengambilan selektif ester kolesterol dari HDL sehingga memengaruhi kadar kolesterol sirkulasi (Ren, 2018). Pada usus, NPC1L1 memediasi absorpsi kolesterol dari lumen dan modulasi transporter baik secara farmakologis maupun nutrasetikal dapat menurunkan pasokan kolesterol eksogen ke sirkulasi (Jia et al., 2011). Keterhubungan simpul-simpul ini menjelaskan alasan intervensi antioksidan-flavonoid yang menekan peroksidasi lipid, memengaruhi absorpsi usus, dan memperkuat RCT berpotensi berdampak pada profil kolesterol (C. Deng et al., 2024a; Jia et al., 2011; Ren et al., 2018b; M. Wang et al., 2021a).

Flavonoid bekerja sebagai antioksidan yang menghambat oksidasi kolesterol LDL (kolesterol jahat) sehingga mencegah pembentukan plak aterosklerotik pada pembuluh darah unggas. Flavonoid juga mampu menghambat enzim HMG-CoA reduktase, yaitu enzim kunci dalam sintesis kolesterol di hati, yang akhirnya menurunkan produksi kolesterol secara endogen. Flavonoid juga meningkatkan ekspresi reseptor LDL di hati, mempercepat penghapusan kolesterol LDL dari darah, serta meningkatkan ekskresi kolesterol melalui feses. Hal ini secara kolektif menurunkan kadar kolesterol total dalam darah unggas (Fauzan et al., 2023; Krismiyanto et al., 2021).

3. Stres Oksidatif dan Peroksidasi Lipid

Ketidakeimbangan antara pembentukan spesies reaktif (ROS) dan pertahanan antioksidan endogen memicu peroksidasi lipid (indikator MDA/TBARS), mengubah fluiditas membran dan mengganggu fungsi lipoprotein/reseptor sehingga memperburuk dislipidemia (C. Deng et al., 2024b). Pada praktik pemeliharaan intensif dan ransum kaya asam lemak tak jenuh, kerentanan oksidatif meningkat. Antioksidan (SOD/CAT/GPx) dan penanda kerusakan lipid (MDA/TBARS) menjadi variabel kunci untuk memahami kaitan oksidasi-lipid dan kolesterol (C. Deng et al., 2024b). Parameter analitik yang lazim digunakan, termasuk catatan QA/QC ringkas, dirangkum pada Tabel 7 berikut.

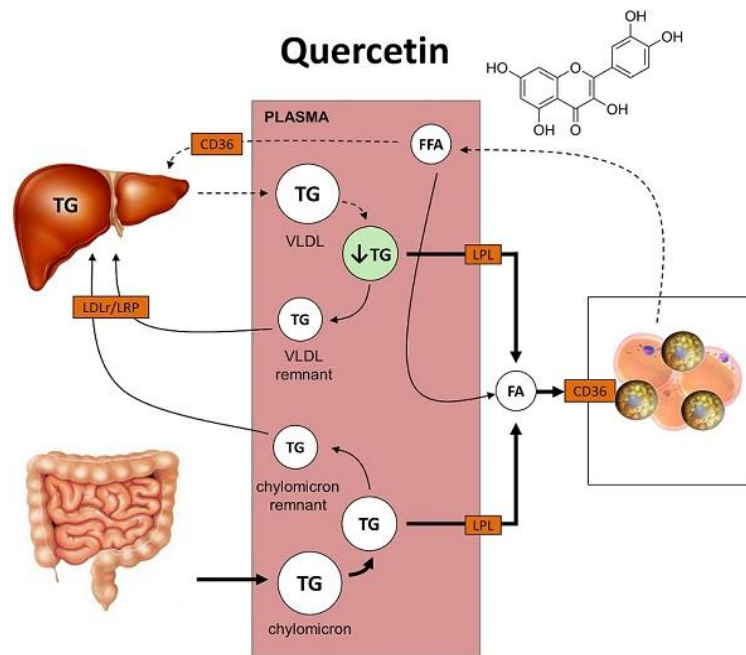
Tabel 7. Marker Analitik dan Metode Uji

Parameter	Matriks	Metode uji	Satuan	Catatan QA/QC
Kolesterol serum	Serum	Enzimatis klorimetri	mg/dL	Kalibrasi kit; duplo
Kolesterol jaringan	Daging	Ekstraksi + enzimatis/GC	mg/kg (ppm)	Blanko jaringan; recovery
TG/VLDL	Serum	Enzimatis / perhitungan	mg/dL	Kondisi puasa konsisten
MDA/TBARS	Serum/daging	Spektrofotometri TBARS	nmol/g atau $\mu\text{mol/L}$	Hindari pemanasan berlebih
SOD/CAT/GPx	Serum/jaringan	Kit enzim	U/mg protein	Normalisasi protein total
Eksresi SR-BI, PPAR γ /LXR α	Hati/usus	qPCR/Western blot	Fold change	Kontrol housekeeping

(Sumber: C. Deng et al., 2024b)

4. Flavonoid Antioksidan (Quercetin) dan Poros Mekanistik

Quercetin merupakan jenis flavonoid yang dapat menurunkan kadar trigliserida plasma (hingga 19%, p 0,05) dan quercetin cenderung mengurangi sintesis *Very Low Density Lipoprotein (VLDL)* – Trigliserida (Kuipers et al., 2018). Kemampuan quercetin dalam mengurangi kadar trigliserida plasma membuat quercetin telah terbukti menjadi obat yang potensial untuk meningkatkan kesehatan metabolisme pada manusia dan hewan (Sahebkar, 2017). Flavonoid memiliki efek meningkatkan aktivitas lipoprotein lipase, sehingga berefek pada penurunan kadar trigliserida serum (Lamson & Brignall, 2000). Berdasarkan penelitian sebelumnya, flavonoid bertindak sebagai pemulung radikal bebas yang memiliki gugus hidroksil (OH-) pada cincin aromatik dan menghentikan rantai reaksi peroksidasi lipid dengan melindungi sel dan bahan kimia dalam tubuh. Mekanisme kerja Antioksidan seperti flavonoid menurunkan kadar kolesterol plasma dengan cara menghambat penyerapan kolesterol di usus dan meningkatkan reaksi pembentukan asam empedu dari kolesterol, yang kemudian dikeluarkan melalui feses (Yokozawa et al., 2002).



Gambar 1. Mekanisme Quercetin Menurunkan Triglicerida (Kuipers et al., 2018)

Flavonoid terutama jenis quercetin dari kulit bawang merah menunjukkan aksi langsung sebagai scavenger ROS dan chelating ion transisi serta aksi tidak langsung melalui aktivasi Nrf2 yang meningkatkan SOD/CAT/GPx (C. Deng et al., 2024b; Tu et al., 2025). Quercetin pada lintasan lipid dilaporkan dapat menurunkan VLDL/triglicerida (antara lain melalui peningkatan LPL), menekan absorpsi kolesterol (kerangka NPC1L1), dan memperkuat RCT melalui aktivasi PPAR γ /LXR α yang menaikkan SR-BI (Ren et al., 2018a; M. Wang et al., 2020). Hubungan antara mekanisme-mekanisme dan indikator pengukuran disintesisikan pada Tabel 8 berikut (C. Deng et al., 2024a; Jia et al., 2011; Ren et al., 2018a; Tu et al., 2025; M. Wang et al., 2021b).

Tabel 8. Mekanisme → biomarker → outcome

Mekanisme	Target/Jalur	Biomarker lazim	Arah	Implikasi
Antioksidan langsung	Scavenging ROS; chelating	MDA/TBARS; karbonil protein	↓	Stabilitas oksidatif jaringan ↑
Antioksidan tidak langsung	Aktivasi Nrf2 → ↑SOD/CAT/GPx	SOD; CAT; GPx	↑	Peroksidasi lipid terhambat
Modulasi lipogenesis/katabolisme	↑LPL; ↓TG/VLDL	TG serum; aktivitas LPL	↓TG; ↑LPL	Beban lipid sirkulasi ↓
Penekanan absorpsi kolesterol	↓efisiensi NPC1L1	Kolesterol feses (↑)	↑	Kolesterol eksogen ke sirkulasi ↓
Penguatan RCT	↑PPAR γ /LXR α → ↑SR-BI	Ekspresi SR-BI hepatic	↑	Pengambilan HDL-C hepatic ↑; kolesterol serum ↓

(Sumber: Ren et al, 2018; Wang et al, 2021; Deng et al, 2024; Tu et al, 2025)

5. Evidensi pada Unggas (Ringkasan Lintas Spesies)

Quercetin konsisten meningkatkan stabilitas oksidatif daging dan menurunkan peroksidasi lipid selama penyimpanan pada ayam broiler (C. Deng et al., 2024b). Pada layer nano-quercetin meningkatkan kinerja produksi, kualitas, dan stabilitas telur, bersamaan dengan penguatan ekspresi gen antioksidan pada usus (Al-Khalaifah et al., 2024). Studi flavonoid pada itik pedaging menunjukkan peningkatan kapasitas antioksidan, fungsi barier usus, dan imunitas dalam memberikan landasan biologis bahwa flavonoid makanan relevan bagi perbaikan homeostasis lipid pada itik meskipun data quercetin murni masih terbatas (Tu et al., 2025). Tabel 9 menunjukkan ringkasan evidensi pada unggas untuk aplikasi quercetin.

Tabel 9. Ringkasan Evidensi pada Unggas

Spesies	Flavonoid/Bentuk	Dosis (mg/kg pakan)	Durasi	Endpoint utama	Arah hasil	Sitasi
Broiler	Quercetin (konvensional)	50–200	4–6 minggu	MDA/TBARS daging; kualitas daging	Peroksidasi ↓; mutu simpan ↑	(Deng, 2024)
Broiler	Quercetin (konvensional)	50–100	4–6 minggu	TG/VLDL; mikrobiota; AMPK/PPAR	TG ↓; sinyal AMPK/PPAR ↑	(Wang, 2021)
Layer	Nano-quercetin	50–100	≥6 minggu	Kinerja, kualitas & stabilitas telur; gen antioksidan usus	Kinerja ↑; oksidasi yolk ↓	(Al-Khalaifah, 2024)
Layer	Quercetin (konvensional)	50–150	4–8 minggu	Profil lipid serum	TC/TG ↓ (variabel)	(Al-Khalaifah, 2024)
Itik pedaging	Flavonoid <i>Lycium</i>	250–1000	35–42 hari	Antioksidan; barier usus; imun	Antioksidan ↑; barier ↑	(Tu, 2025)
Itik pedaging	Flavonoid (umum)	—	—	Kolesterol serum/daging	Data langsung terbatas; kecenderungan ↓	(Tu, 2025)

(Sumber: Al-Khalaifah et al., 2024; C. Deng et al., 2024b; Tu et al., 2025; M. Wang et al., 2021b).

Tabel 9 menekankan tiga hal yaitu (1) bentuk sediaan memengaruhi besaran efek; (2) terdapat heterogenitas hasil pada parameter lipid serum layer terkait kemungkinan matriks pakan, strain, dan durasi; (3) riset spesifik ini dengan quercetin perlu diperkaya melalui desain dosis-respon dan standarisasi marker kimia (Al-Khalaifah et al., 2024; C. Deng et al., 2024b; Tu et al., 2025).

6. Moderator Efek Hipolipidemik dan Implikasi Rancangan

Efek flavonoid terhadap kolesterol ditentukan oleh beberapa moderator. Pertama yaitu dosis yang menunjukkan kurva U (hormesis) dosis sedang yang memberikan manfaat optimal sedangkan dosis terlalu tinggi berpotensi

memunculkan efek pro-oksidan ringan (C. Deng et al., 2024b; Tu et al., 2025). Kedua, bentuk sediaan (tepung, ekstrak, nano) menentukan ketersediaan hayati sehingga memengaruhi efektivitas biologis pada tingkat dosis yang berbeda (Al-Khalifah et al., 2024). Ketiga yaitu matriks ransum (serat/lemak) memengaruhi kelarutan misel dan transit usus, hal ini relevan baik untuk kolesterol maupun polifenol (M. Wang et al., 2021a). Daftar moderator dirangkum seperti pada Tabel 10, sedangkan perbandingan keunggulan/keterbatasan bentuk sediaan dirangkum pada Tabel 11 berikut.

Tabel 10. Moderator yang Memengaruhi Efek Hipolipidemik

Moderator	Level/Contoh	Dampak	Keterangan	Sitasi
Dosis	Rendah–sedang vs tinggi	Kurva U; sedang optimal	Hindari overdosis pro-oksidan	(Deng, 2024)
Bentuk sediaan	Tepung/ekstrak vs nano	Nano → bioavail ↑	Sistem penghantaran penting	(Al-Khalifah, 2024)
Matriks ransum	Serat & lemak	Pengaruh pada misel/transit	Penyesuaian energi/serat diperlukan	(Wang, 2021)
Strain/umur	Ras/umur berbeda	Respons antioksidan bervariasi	Standarisasi umur & strain	(Deng, 2024)
Stres lingkungan	Panas; kepadatan	Efek antioksidan lebih nyata	Perbaikan manajemen kandang	(Deng, 2024)

(Sumber: Wang et al, 2021; Al-Khalifah, 2024; Deng et al, 2024)

Tabel 11. Perbandingan Bentuk Sediaan

Bentuk	Kelebihan	Keterbatasan	Implikasi
Tepung tanaman	Murah; mudah; stabil	Variabilitas marker tinggi	Cocok skala awal; perlu standarisasi
Ekstrak	Konsentrasi marker konsisten	Biaya; pelarut; stabilitas	Sesuai uji dosis-respon
Nano-quercetin	Bioavailabilitas ↑; target lebih jelas	Kompleks; biaya; regulasi	Efek lebih kuat pada dosis lebih rendah

(Sumber: Wang et al, 2021; Al-Khalifah, 2024; Deng et al, 2024)

Kerangka transporter-reseptor (NPC1L1, SR-BI), sumbu nuklir (PPAR γ /LXR α), dan status antioksidan, serta literatur mendukung empat poros utama penurunan kolesterol oleh flavonoid yaitu dengan pemutusan peroksidasi

lipid, penekanan absorpsi kolesterol usus, peningkatan ekskresi kolesterol (konversi ke asam empedu), dan penguatan RCT (C. Deng et al., 2024b; Jia et al., 2011; Ren et al., 2018b; M. Wang et al., 2021a). Hasil referensi pada Tabel 6 sampai Tabel 11 memberikan landasan teoritis untuk riset yang dilakukan dengan intervensi berbasis quercetin kulit bawang pada unggas termasuk itik menjadi konsisten dan terukur. Secara konseptual dosis moderat dalam bentuk sediaan dengan ketersediaan hayati meningkat dan matriks ransum terkontrol yang diharapkan memberikan penurunan kolesterol serum dan daging yang paling nyata (Al-Khalaifah et al., 2024; C. Deng et al., 2024b; Tu et al., 2025; M. Wang et al., 2021a).

C. Pakan Itik Fungsional dengan Penekanan Antioksidan Flavonoid

Pakan merupakan salah satu faktor yang sangat penting dalam usaha meningkatkan produktivitas itik pedaging. Pakan untuk itik pedaging bisa terbuat dari kombinasi berbagai macam bahan karena belum ada satu bahan yang memenuhi seluruh kebutuhan itik. Sehingga perlu sebuah formulasi pakan dengan komposisi pakan yang sesuai dengan ketersediaan bahan pakan yang ada.

1. Itik Tegal

Populasi itik di Indonesia dari tahun ke tahun terus meningkat, di tahun 2017 sudah mencapai 49.709.000 ekor dan Indonesia masuk dalam urutan lima besar dunia, sementara China merupakan negara yang memiliki populasi itik paling tinggi. Itik lokal merupakan salah satu plasma nutfah Indonesia, termasuk spesies itik Indian runner yang sangat terkenal sebagai penghasil telur. Strain dari itik

Indian runner itu sendiri ada berbagai macam dan diberi nama sesuai dengan tempat perkembangannya seperti itik Tegal, itik Magelang, itik mojosari, dan itik Alabio yang memiliki produktifitas yang berbeda-beda (Ismoyowati; Dattadewi Purwantini, 2013).

Itik merupakan ternak monogastrik yang dapat dimanfaatkan daging dan telurnya untuk dikonsumsi manusia. Itik merupakan salah satu ternak unggas yang taksonominya diklasifikasikan sebagai berikut (Kartikasari, 2018):

Kingdom : Animalia
Phylum : Chordata
Class : Aves
Order : Anseriformes
Family : Anatidae
Subfamily : Anatinae
Genus : Anas
Spesies : Anas platyrhynchos

Itik Tegal merupakan salah satu rumpun itik lokal Indonesia yang mempunyai keseragaman bentuk fisik dan komposisi genetik serta kemampuan adaptasi dengan baik pada keterbatasan lingkungan. Keistimewaan lain dari daging itik tegal yaitu kualitas daging yang lebih empuk dan memiliki rasa yang lebih khas sehingga dagingnya banyak disukai untuk diolah menjadi masakan. Deskripsi rumpun itik Tegal menurut Kementerian Pertanian (2011), sebagai berikut:

Nama Rumpun : Itik Tegal

Sifat kualitatif : postur tubuh langsing, tegak mirip botol

Warna bulu dewasa : putih kotor kecokelatan (branjangan), coklat muda dengan totol-totol coklat tipis (lemahan), coklat muda dengan totol-totol hitam tipis (jarakan), putih polos, coklat kehitaman atau hitam kelam; warna ceker dan paruh : putih jingga, hitam kehijauan, hitam kecokelatan, putih jingga, atau hitam kecokelatan; warna kerabang telur : hijau kebiruan

Bobot badan dewasa : $1,52 \pm 0,2$ kg (jantan) $1,47 \pm 0,2$ kg (betina)

Panjang ceker : $11,5 \pm 0,6$ cm

Puncak produksi telur : $70,5 \pm 2,51\%$

Sifat reproduksi : umur dewasa kelamin : 188 ± 33 hari

Waktu pemanenan daging : 45 -60 hari

Wilayah sebaran : Provinsi Jawa Tengah



Gambar 2. Itik Tegal
(Kartikasari, 2018)

Daging merupakan salah satu produk utama yang dihasilkan oleh itik. Sisi lain daging itik memiliki kelemahan yaitu mengandung kolesterol yang lebih tinggi dibandingkan daging ayam. Daging itik lebih resisten atau tahan penyakit dibanding daging ayam, oleh karenanya pemanfaatan daging itik sebagai sumber protein sangat potensial oleh karena itu daging itik mengandung protein lebih tinggi (21,40%) dibanding dengan daging ayam (20,40%) (Alfauzi et al., 2021).

2. Konsep Pakan Fungsional pada Itik

Pakan fungsional pada unggas didefinisikan sebagai ransum dasar yang diperkaya komponen bioaktif untuk menghasilkan manfaat fisiologis tambahan di luar pemenuhan kebutuhan nutrisi, misalnya peningkatan status antioksidan jaringan, modulasi metabolisme lipid, dan perbaikan mutu produk (Al-Khalifah et al., 2020; C. Deng et al., 2024a). Bahan alami yang mengandung pakan fungsional dan banyak terdapat di Indonesia dapat diklasifikasikan menjadi fitogenik, enzim, probiotik, dan prebiotik, selain mempunyai fungsi dasar (kandungan nutrisi) juga dapat meningkatkan produktivitas ternak, menekan angka kematian, dan memperbaiki rasio konversi pakan, meningkatkan status kesehatan serta mengurangi risiko penyakit (Santoso et al., 2017).

Pakan mengandung komponen mineral seperti besi, tembaga atau selen yang dapat mengkatalisis oksidasi nutrisi. Namun demikian, komponen antioksidan seperti tokoferol, karoten, flavonoid dan lain-lain dapat melindungi komponen pakan yang mudah teroksidasi. Aktivitas antioksidan bervariasi tergantung pada polaritas, kelarutan dan tempat aktivitas. Beberapa antioksidan digunakan untuk

melindungi nutrisi pakan selama penyimpanan dan antioksidan lainnya mempunyai aktivitas utama dalam saluran pencernaan sehingga membantu penyerapan komponen nutrisi yang telah dioksidasi (Santoso et al., 2017).

Pada itik pedaging, fokus pakan fungsional sering diarahkan pada penurunan kolesterol serum/jaringan serta stabilitas oksidatif daging, karena kedua keluaran tersebut berkaitan dengan nilai tambah produk dan preferensi konsumen (Tu, 2025). Sejalan dengan kerangka mekanistik pada §2.2 (antioksidan—NPC1L1—PPAR γ /LXR α —SR-BI), pakan fungsional yang mengandung flavonoid (misalnya quercetin dari kulit bawang merah) dihipotesiskan mampu menurunkan kolesterol melalui pemutusan peroksidasi lipid, penekanan absorpsi kolesterol usus, dan penguatan reverse cholesterol transport (RCT) (C. Deng et al., 2024b; Jia et al., 2011; Ren et al., 2018b; M. Wang et al., 2021a).

3. Komponen Ransum Dasar

Itik pedaging kebutuhan protein dan energi umur 0 – 2 minggu adalah 22% dan 2.900 kkal/kg sedangkan umur 0 – 7 minggu adalah 16% dan 2.900 kkal/kg. Itik Lokal Indonesia berperan sebagai penghasil telur dan daging sebanyak 19,35% dari 793.800 ton kebutuhan telur di Indonesia. Kandungan nutrisi dari ransum menjadi salah satu faktor dari produksi itik lokal (Biyatmoko D, 2017).

Protein dan energi menjadi acuan utama dalam formulasi ransum unggas karena perannya yang krusial dalam pertumbuhan dan kesehatan secara keseluruhan. Protein penting untuk perkembangan dan perbaikan jaringan, sementara energi diperlukan untuk menjaga fungsi tubuh dan mendukung

pertumbuhan. Keseimbangan nutrisi ini krusial untuk mengoptimalkan produksi unggas, karena keduanya secara langsung memengaruhi kinerja pertumbuhan, efisiensi pakan, dan kelayakan ekonomi. Bagian berikut membahas pentingnya protein dan energi dalam ransum unggas, yang didukung oleh temuan dari berbagai penelitian (Kim, 2014; L. Kumar et al., 2024; Perween et al., 2016).

Informasi kebutuhan gizi untuk pakan itik pedaging di Indonesia masih berdasarkan rekomendasi dari National Research Council- Nutrient Requirements of Poultry Tahun 1994. Kebutuhan protein kasar untuk itik pedaging umur 0 – 2 minggu lebih tinggi dari rekomendasi kebutuhan protein untuk itik petelur seperti tertera pada Tabel 12 yaitu masing-masing 22% untuk itik pedaging dan 17-20% untuk itik petelur. Kebutuhan gizi untuk itik pedaging dikelompokkan menjadi starter umur 0-2 minggu, grower 2 – 7 minggu dan itik bibit. Frekuensi pemberian pakan pada itik bisa dilakukan dengan frekuensi 2 kali sehari atau 3 kali sehari secara *ad libitum* (terus menerus) (Nutrient Requirements of Poultry, 1994).

Tabel 12. Komposisi Kebutuhan Gizi Pakan Itik Pedaging Pada Berbagai Umur

No	Gizi	Starter (0-2 minggu)	Grower (2-7 minggu)
1	Protein kasar (%)	22	16
2	Energi (kkal EM/kg)	2.700	2.800
3	Metionin (%)	0,40	0,30
4	Lisin (%)	0,90	0,65
5	Ca (%)	0,65	0,60
6	P (%)	0,40	0,30
7	Lemak (%)	4-7	3-6

(Sumber: Nutrient Requirements of Poultry, 1994)

Ransum itik pedaging umumnya tersusun atas sumber energi (jagung/serelia), sumber protein (bungkil kedelai/tepung ikan), minyak/lemak, serat/filler dan premiks vitamin-mineral. Penambahan komponen fungsional dilakukan sebagai

top-dress atau dicampurkan homogen pada mixer ransum dengan perhatian terhadap homogenitas distribusi, stabilitas termal, dan kompatibilitas matriks (C. Deng et al., 2024b; M. Wang et al., 2021a). Tabel 13 merangkum fraksi kunci dan alasan fungsionalnya dalam konteks target penurunan kolesterol.

Tabel 13. Fraksi Ransum dan Alasan Fungsional (Target Hipolipidemik)

Fraksi	Contoh	Alasan fungsional terkait lipid/oksidasi	Referensi
Energi	Jagung/serelia	Kendali densitas energi; memengaruhi lipogenesis hepatic	(Deng, 2024)
Protein	Bungkil kedelai, tepung ikan	Asam amino esensial; memengaruhi turnover lipoprotein	(Wang, 2021)
Lemak/minyak	Minyak nabati	Profil asam lemak menentukan kerentanan oksidasi	(Deng, 2024)
Serat terlarut/insolubel	Dedak, <i>by-product</i>	Modifikasi misel; potensi pengikatan sterol	(Wang, 2021)
Premiks vitamin	Vit E/Se	Sinergi antioksidan endogen; perlindungan membran	(Deng, 2024)

(Sumber: Wang et al, 2021; Deng et al, 2024)

4. Bentuk Sediaan Suplemen Flavonoid

Bentuk sediaan menentukan bioavailabilitas dan besaran efek pada dosis yang sama. Tepung yang berasal dari tanaman cenderung stabil dan ekonomis tetapi variabilitas marker tinggi. Ekstrak memberikan konsistensi kadar marker tetapi memerlukan perhatian pada pelarut dan stabilitas. Nano-quercetin menunjukkan peningkatan disolusi/penyerapan sehingga efek biologis dapat dicapai pada dosis lebih rendah (Al-Khalaifah et al., 2024). Perbandingan ringkas tentang formulasi pakan disajikan pada Tabel 14 berikut.

Tabel 14. Bentuk Sediaan Flavonoid untuk Pakan Fungsional

Bentuk	Kelebihan	Keterbatasan	Implikasi formulasi	Referensi
Tepung kulit bawang	Stabil; biaya rendah	Variabilitas komposisi; dosis besar	Cocok tahap eksplorasi; perlu standarisasi marker	(Deng, 2024)
Ekstrak terkonsentrasi	Kadar marker terukur	Stabilitas & biaya; pelarut	Baik untuk uji dosis-respon terkontrol	(Wang, 2021)
Nano-quercetin	Bioavail ↑; dosis efektif ↓	Kompleksitas manufaktur	Potensial efek lebih kuat pada dosis moderat	(Al-Khalaifah, 2024)

(Sumber: Wang et al, 2021; Al-Khalaifah et al, 2024; Deng et al, 2024)

5. Penetapan Dosis dan Konversi ke Basis Ransum

Penentuan dosis quercetin dan konversinya ke dalam ransum unggas melibatkan pemahaman tentang pengaruhnya terhadap kinerja pertumbuhan, kualitas daging, dan parameter kesehatan unggas. Quercetin merupakan suatu flavonoid yang dikenal karena sifat antioksidan, anti-inflamasi, dan pemacu pertumbuhannya menjadikannya aditif yang berharga dalam pakan unggas (Parmar & Immanuel, 2022).

Berdasarkan hasil studi pada unggas melaporkan rentang quercetin 50–200 mg/kg pakan (konvensional) untuk perbaikan antioksidan/parameter lipid (Deng et al., 2024b; Wang et al., 2021a) dan 50–100 mg/kg pada bentuk nano untuk layer (Al-Khalaifah et al., 2024). Pada itik, bukti spesifik quercetin masih terbatas, Suplementasi quercetin dengan kadar 0,2 hingga 0,6 g/kg dalam pakan broiler telah terbukti meningkatkan kinerja pertumbuhan, pencernaan nutrisi, dan kualitas otot dada (Dang et al., 2022a). Quercetin menjanjikan sebagai suplemen makanan pada unggas yang efeknya dapat bervariasi berdasarkan kondisi spesifik dan galur genetik unggas. Iinteraksi quercetin dengan komponen pakan lain dan dampaknya terhadap metabolisme obat memerlukan formulasi pakan unggas yang cermat untuk

memaksimalkan manfaat sekaligus meminimalkan interaksi yang merugikan (Bhutto et al., 2018).

Tabel 15 menyajikan cara konversi dosis dari mg/kg pakan ke gram/ton ransum serta skenario dosis eksploratif untuk itik.

Tabel 15. Skema Dosis dan Konversi

Skenario	Bentuk	Target dosis (mg/kg pakan)	Ekivalen g/ton	Catatan rancangan	Rujukan
A (moderat)	Quercetin konv.	75	75	Meminimalkan risiko pro-oksidan; awal uji	(Wang, 2021)
B (sedang)	Quercetin konv.	150	150	Ekspektasi efek antioksidan & lipid ↑	(Deng, 2024)
C (nano)	Nano-quercetin	75	75	Efektivitas lebih tinggi pada dosis sama	(Al-Khalaifah, 2024)

(Sumber: Wang et al, 2021; Al-Khalifah et al, 2024; Deng et al, 2024)

6. Jaminan Mutu (Quality Control) Bahan dan Ransum

Pengendalian mutu bahan dan ransum itik yang diberi quercetin melibatkan evaluasi efek quercetin sebagai suplemen pakan terhadap berbagai parameter kinerja dan kesehatan unggas. Quercetin yang merupakan flavonoid dengan sifat antioksidan, semakin banyak digunakan sebagai suplemen pakan untuk meningkatkan kinerja pertumbuhan, meningkatkan kualitas daging, dan sebagai alternatif antibiotik dalam produksi unggas (Dang et al., 2022a). Keefektifan pakan fungsional bergantung pada konsistensi kadar marker (quercetin) dan stabilitas oksidatif ransum. Parameter jaminan mutu yang lazim untuk pakan ber-polifenol dirangkum pada Tabel 16 berikut (Deng et al., 2024b; Wang et al., 2021a).

Tabel 16. Parameter Quality Control Pakan Fungsional Flavonoid

Parameter	Matriks	Metode ringkas	Tujuan QC	Keterangan
Kadar quercetin/marker	Bahan/ pakan	KLT-densitometri/HPLC	Standarisasi dosis	Kalibrasi & <i>spike recovery</i>
Kadar air & aktivitas air	Pakan	Gravimetri/aw-meter	Stabilitas penyimpanan	Mencegah degradasi
Peroksida/TBA ransum	Pakan	Nilai peroksida/TBA	Stabilitas lipid	Batas mutu sebelum dikonsumsi
Homogenitas pencampuran	Pakan	Penanda inert/analitik	Pemerataan dosis	Sampling <i>multi-point</i>
Vit E/Se (bila ada)	Pakan	Kit/ICP-OES	Sinergi antioksidan	Hindari defisiensi

(Sumber: Wang et al, 2021; Al-Khalifah et al, 2024; Deng et al, 2024)

Evaluasi pakan fungsional tidak hanya menilai profil lipid tetapi juga kinerja produksi, status antioksidan, dan mutu produk. Berikut pada Tabel 17 merangkum endpoint yang lazim untuk itik pedaging beserta arah perubahan yang diharapkan berdasarkan literatur unggas (Deng et al., 2024b; Tu et al., 2025; Wang et al., 2021a).

Tabel 17. Endpoint evaluasi pakan fungsional pada itik pedaging

Domain	Indikator	Arah yang diharapkan	Referensi
Performa	Bobot badan harian, FCR	Stabil/lebih baik (tidak menurun)	(Tu, 2025)
Antioksidan	SOD/CAT/GPx jaringan	↑	(Deng, 2024)
Oksidasi lipid	MDA/TBARS serum/daging	↓	(Deng, 2024)
Lipid sirkulasi	TG, VLDL, TC serum	↓	(Wang, 2021)
Lipid jaringan	Kolesterol daging	↓	(Deng, 2024)
Molekuler	Ekspresi SR-BI, PPAR γ /LXR α	↑	(Ren, 2018)
Kualitas daging	Stabilitas oksidatif simpan	↑	(Deng, 2024)

(Sumber: Ren et al, 2018; Wang et al, 2021; Deng et al, 2024; Tu et al, 2025)

Tiga moderator kunci perlu dikendalikan dalam uji pakan fungsional yaitu dosis, bentuk sediaan, dan matriks ransum. Dosis moderat diprioritaskan untuk menghindari zona pro-oksidan, bentuk sediaan dipilih sesuai tujuan (ekstrak untuk konsistensi, nano untuk efisiensi dosis), dan matriks ransum disesuaikan terhadap

serat/lemak agar tidak menghambat penyerapan atau mengubah profil misel kolesterol (Al-Khalaifah et al., 2024; Deng et al., 2024b; Wang et al., 2021a). Perlakuan dalam menjaga validitas internal disarankan penggunaan rancangan acak lengkap dengan kontrol negatif (ransum dasar), dan kontrol positif bila relevan (misalnya sumber antioksidan standar) (C. Deng et al., 2024b).

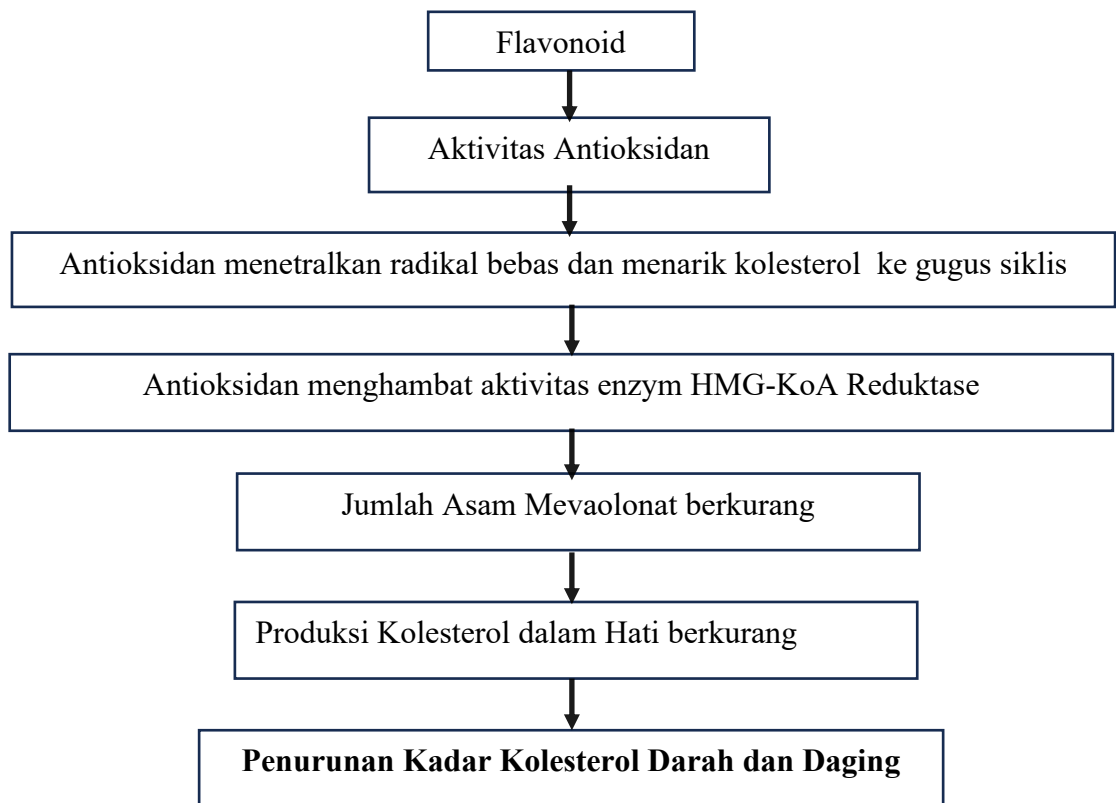
Berdasarkan kajian di atas pakan itik yang diperkaya flavonoid quercetin dari kulit bawang diantisipasi menurunkan kolesterol serum dan jaringan melalui: (1) pemutusan peroksidasi lipid (MDA/TBARS ↓), (2) penekanan absorpsi kolesterol usus (indikasi: kolesterol feses ↑), dan (3) penguatan RCT melalui aktivasi PPAR γ /LXR α dan peningkatan SR-BI hepatic (Deng et al., 2024b; Jia et al., 2011; Ren et al., 2018b; Wang et al., 2021a). Dengan kendali moderator dan QC pada Tabel 15 serta pemilihan dosis pada Tabel 14, arah hasil pada Tabel 16 diharapkan tercapai tanpa penurunan performa (Tu et al., 2025)

D. Hubungan Flavonoid, Aktivitas Antioksidan, dan Kadar Kolesterol pada Unggas

Kulit bawang merah mengandung konsentrasi flavonoid yang tinggi dan memiliki karakteristik antibakteri dan antioksidan tertinggi. Aktivitas antioksidan senyawa fenolik yang diisolasi dari kulit 15 kultivar bawang merah yang berbeda dinilai bahwa kulit bawang merah memiliki aktivitas antioksidan yang lebih baik daripada bawang lainnya karena kandungan fenoliknya yang lebih tinggi (Sagar et al., 2022).

Flavonoid bekerja sebagai antioksidan yang menghambat oksidasi kolesterol LDL (kolesterol jahat) sehingga mencegah pembentukan plak

aterosklerotik pada pembuluh darah unggas. Flavonoid juga mampu menghambat enzim HMG-CoA reduktase, yaitu enzim kunci dalam sintesis kolesterol di hati, yang akhirnya menurunkan produksi kolesterol secara endogen. Flavonoid juga meningkatkan ekspresi reseptor LDL di hati, mempercepat penghapusan kolesterol LDL dari darah, serta meningkatkan ekskresi kolesterol melalui feses. Hal ini secara kolektif menurunkan kadar kolesterol total dalam darah unggas (Fauzan et al., 2023; Krismiyanto et al., 2021). Secara umum aktivitas antioksidan penurunan kadar kolesterol dalam pakan itik ialah sebagai berikut.



Gambar 3. Aktivitas Antioksidan Menurunkan Kolesterol