Bulletin of Applied Animal Research
https://www.ejournal.unper.ac.id/index.php/BAAR
Vol 7 (1) : 36 - 49, Februari 2025

REVIEW

Comprehensive Review on *Clostridium perfringens* Control of Poultry Feed Storage

Tinjauan Komprehensif Pengendalian Clostridium Perfringens pada Penyimpanan Pakan Unggas

Muhammad Rifqi Ismiraj[1*], Novi Mayasari[2], Indra Firmansyah[3], Asri Wulansari[1], Firman Febrianto[1]
[1]Program Studi Peternakan PSDKU Pangandaran, Fakultas Peternakan, Universitas Padjadjaran, Cintaratu, Parigi, Kab. Pangandaran, Jawa Barat, 46393
[2]Departemen Nutrisi Ternak dan Teknologi Pakan, Fakultas Peternakan, Universitas Padjadjaran, Jatinangor, Sumedang, Jawa Barat, 45363
[3]Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem, Fakultas Teknologi dan Industri Pertanian, Universitas Padjadjaran, Jatinangor, Sumedang, Jawa Barat, 45363
**Corresponding E-mail :* m.rifqi.ismiraj@unpad.ac.id

ABSTRAK

Kajian ini bertujuan untuk mengevaluasi peran praktik penyimpanan pakan dalam mencegah proliferasi *Clostridium perfringens* dan dampaknya terhadap kesehatan serta produktivitas unggas. *Clostridium perfringens* adalah bakteri gram positif yang mampu membentuk spora dan menghasilkan toksin. Bakteri ini dikenal sebagai penyebab enteritis nekrotik (*Necrotic Enteritis* / NE), suatu penyakit yang mengganggu sistem pencernaan unggas dan berkontribusi terhadap penurunan produktivitas melalui gangguan pertumbuhan, peningkatan mortalitas, serta kerugian ekonomi signifikan di sektor peternakan. Faktor utama yang mempengaruhi pertumbuhan *C. perfringens* meliputi kondisi penyimpanan pakan, seperti durasi penyimpanan yang berkepanjangan, kelembapan tinggi, dan suhu yang suportif terhadap perkembangbiakan mikroorganisme. Kondisi tersebut menciptakan lingkungan ideal bagi pertumbuhan bakteri, terutama pada pakan dengan kandungan protein tinggi. Selain faktor lingkungan, karakter biologis bakteri yakni seperti kemampuan membentuk spora dan produksi toksin, menambah daya tahan serta kesulitannya untuk dikendalikan. Untuk mengurangi risiko kontaminasi, kajian ini menguraikan strategi pengendalian yang meliputi pengelolaan kelembapan dan suhu secara optimal, pembatasan durasi penyimpanan, serta penggunaan penyimpanan hermetik. Intervensi dengan inokulasi bakteri asam laktat, pemanfaatan asam organik, probiotik, dan pengikat mikotoksin juga terbukti efektif dalam menekan pertumbuhan *C. perfringens* secara tidak langsung. Program sanitasi yang ketat ditekankan guna meminimalkan kontaminasi silang. Pada akhirnya, diharapkan peternak dapat menjaga kualitas pakan, meningkatkan kesehatan unggas, dan mencapai produksi unggas yang lebih efisien serta berkelanjutan.

Kata kunci : Clostridium perfringens, produksi unggas, penyimpanan pakan, enteritis nekrotik.

ABSTRACT

This review aims to evaluate the role of feed storage practices in preventing the proliferation of *Clostridium perfringens* and its subsequent impact on poultry health and productivity. *Clostridium perfringens* is a Gram-positive bacterium capable of forming spores and producing toxins, and it is recognized as the causative agent of necrotic enteritis (NE). NE disrupts the gastrointestinal system of poultry, leading to impaired growth, increased mortality, and significant economic losses in the poultry industry. The primary factors influencing the growth of C. perfringens include feed storage conditions, specifically, prolonged storage duration, high humidity, and temperatures conducive to microbial proliferation. These conditions create an ideal environment for bacterial growth, particularly in feeds with high protein content. In addition, the bacterium's inherent biological characteristics, such as its ability to form spores and produce toxins, further enhance its resilience and complicate control efforts. To mitigate the risk of contamination, this review outlines several control strategies. These include the optimal management of humidity and temperature, the reduction of storage duration, and the implementation of hermetic storage systems. Moreover, interventions such as the inoculation of lactic acid bacteria, and the targeted use of organic acids, probiotics, and mycotoxin binders, have proven effective in indirectly suppressing the growth of C. perfringens. A rigorous sanitation program is also emphasized to minimize cross-contamination. Ultimately, these measures are expected to enable farmers to maintain feed quality, enhance poultry health, and achieve more efficient and sustainable poultry production.

Keywords : Clostridium perfringens, poultry production, feed storage, necrotic enteritis.

PENDAHULUAN

Unggas memegang peran penting dalam pemenuhan kebutuhan pangan global, dengan menyediakan sumber protein hewani yang terjangkau dan berkualitas tinggi, serta dampak lingkungan yang relatif lebih rendah dibandingkan jenis ternak lain. Produksi unggas (mengacu pada budidaya unggas secara skala besar, terutama ayam, untuk pemenuhan kebutuhan daging dan telur) diperkirakan akan mendominasi konsumsi daging global pada tahun 2050, didorong oleh meningkatnya preferensi konsumen terhadap daging ayam dan telur (Erdaw & Beyene, 2022; Falcon et al., 2022). Menurut OECD/FAO (2024), permintaan daging global diperkirakan akan meningkat sekitar 12% pada tahun 2033. Perkembangan ini menegaskan pentingnya menerapkan praktik produksi yang berkelanjutan dan efisien untuk memenuhi permintaan yang terus meningkat.

Populasi dunia diproyeksikan meningkat secara signifikan dalam beberapa dekade mendatang, sehingga akan semakin

memperbesar kebutuhan pangan, khususnya produk unggas, terutama daging dan telur konsumsi. Kawasan Sub-Sahara Afrika, misalnya, diprediksi mengalami lonjakan konsumsi unggas hingga 214% pada tahun 2050 (Erdaw, 2023). Pertumbuhan permintaan ini menekankan perlunya optimalisasi sistem produksi, termasuk kualitas serta manajemen pakan, demi menunjang pertumbuhan berkelanjutan dalam industri unggas.

Namun demikian, keberlanjutan produksi unggas menghadapi tantangan signifikan, terutama akibat penggunaan pakan berkualitas rendah. Kualitas pakan secara langsung memengaruhi kesehatan dan produktivitas unggas; formulasi pakan yang buruk atau kontaminasi dapat menimbulkan inefisiensi serta kerugian ekonomi. Penanganan tantangan ini menjadi krusial untuk menjaga profitabilitas sekaligus meminimalkan dampak lingkungan (Oni et al., 2023; Pesti & Choct, 2023).

Salah satu faktor utama yang memengaruhi rendahnya kualitas pakan adalah praktik penyimpanan yang buruk, khususnya di wilayah tropis yang ditandai kelembapan dan suhu tinggi. Kondisi tersebut meningkatkan risiko kontaminasi bakteri, yang pada gilirannya dapat menurunkan keamanan dan mutu nutrisi pakan. Dengan demikian, praktik penyimpanan pakan yang tepat menjadi sangat penting untuk mengurangi risiko kontaminasi mikroba di lingkungan tersebut (Mafruchati et al., 2022).

Di antara berbagai mikroorganisme yang mengancam kesehatan unggas, *Clostridium perfringens* menjadi perhatian utama. Patogen ini bertanggung jawab atas enteritis nekrotik (NE), penyakit yang menimbulkan kerugian ekonomi global hingga lebih dari 6 miliar dolar AS setiap tahunnya. NE dapat muncul dalam bentuk subklinis (menurunkan efisiensi pakan dan bobot badan) atau dalam bentuk akut yang mengakibatkan kematian tinggi. Proliferasi *C. perfringens* dalam pakan dipengaruhi oleh sejumlah faktor, termasuk kondisi penyimpanan, sehingga menegaskan pentingnya praktik manajemen pakan yang efektif (Abd El-Hack et al., 2022; Emami & Dalloul, 2021).

Tinjauan ini bertujuan untuk membahas tantangan utama terkait penyimpanan pakan dan kontaminasi mikroba dalam produksi unggas melalui sintesis pengetahuan terkini dan pemberian rekomendasi praktis. Fokus utama tinjauan ini ialah memeriksa hubungan antara durasi penyimpanan dan proliferasi *Clostridium* spp. dalam pakan unggas, dengan menganalisis bagaimana lamanya penyimpanan memengaruhi pertumbuhan bakteri. Tinjauan ini juga mengeksplorasi faktor-faktor yang memodulasi hubungan tersebut, seperti tingkat kelembapan, suhu, dan komposisi pakan, untuk memahami pengaruhnya terhadap proliferasi *Clostridium*. Selain itu, dibahas pula implikasi kontaminasi mikroba bagi kesehatan dan produksi unggas, termasuk kaitannya dengan kejadian enteritis nekrotik dan masalah kesehatan lainnya. Lebih jauh, tinjauan ini

memberikan rekomendasi berbasis bukti mengenai praktik penyimpanan pakan yang efektif guna meminimalkan kontaminasi *Clostridium*, sehingga meningkatkan keamanan pakan serta mendukung kesehatan dan produktivitas unggas secara berkelanjutan.

PENYIMPANAN PAKAN DAN KONTAMINASI MIKROORGANISME

Kondisi penyimpanan, seperti tingkat kelembapan, suhu, dan durasi, sangat berpengaruh terhadap pertumbuhan mikroba dalam pakan ternak, terutama bakteri patogen seperti *Clostridium* spp. Lingkungan penyimpanan yang dikelola dengan buruk dapat menciptakan kondisi yang kondusif bagi proliferasi mikroba, sehingga menurunkan kualitas dan keamanan pakan. Untuk memperdalam pemahaman tentang penyimpanan pakan dan kontaminasi mikroba, Tabel 1 di bawah ini merangkum temuan-temuan utama dari berbagai studi yang relevan.

Kadar kelembapan yang tinggi dalam pakan yang disimpan berpotensi besar mendorong pertumbuhan bakteri, termasuk *Clostridium* spp., dan jamur. Penelitian mengenai penyimpanan silase menunjukkan bahwa peningkatan kadar air dapat memicu buruknya kualitas fermentasi serta meningkatkan populasi bakteri. Sebagai contoh, silase biji jagung yang direhidrasi dan disimpan dalam jangka waktu lama mengalami peningkatan populasi *Clostridium* setelah 120 hari, menyoroti dampak kelembapan dan lamanya penyimpanan terhadap komposisi mikroba (Carvalho-Estrada et al., 2020). Begitu pula, penyimpanan anaerob basah pada biomassa dapat memicu aktivitas bakteri jika tidak diimbangi pengasaman atau penambahan bahan kimia yang memadai (Li et al., 2020).

Suhu merupakan faktor krusial lainnya yang mempengaruhi proliferasi mikroba. Suhu penyimpanan yang lebih tinggi berhubungan dengan meningkatnya aktivitas bakteri, sebagaimana ditunjukkan oleh berbagai studi. Misalnya, pakan yang disimpan pada suhu 25°C atau lebih memperlihatkan laju pertumbuhan mikroba lebih tinggi, yang mengarah pada pembentukan mikotoksin dan kontaminasi bakteri secara cepat (Pietsch et al., 2020). Temuan-temuan penelitian ini menegaskan pentingnya menjaga suhu penyimpanan tetap rendah guna menghambat pertumbuhan bakteri pada pakan.

Tabel 1. Ringkasan beberapa studi tentang penyimpanan pakan dan kontaminasi mikroorganisme.

No.	Kondisi/Perlakuan	Dampak / Temuan	Referensi
1	Silase jagung yang direhidrasi, disimpan selama 120 hari	Peningkatan signifikan populasi *Clostridium* setelah penyimpanan jangka panjang, menunjukkan dampak negatif dari kadar kelembapan tinggi dan durasi penyimpanan.	Carvalho-Estrada et al. (2020)
2	Penyimpanan basah biomassa secara anaerob	Menstimulasi aktivitas bakteri kecuali jika ditanggulangi dengan pengasaman yang memadai atau penambahan	Li et al. (2020)

		bahan kimia, sehingga meningkatkan risiko kontaminasi mikroba.	
3	Pakan disimpan pada suhu ≥25°C	Pertumbuhan mikroba meningkat, diikuti pembentukan mikotoksin yang cepat dan risiko kontaminasi bakteri yang lebih tinggi.	Pietsch et al. (2020)
4	Susu cair disimpan pada suhu yang lebih tinggi	Mempercepat pembusukan bakteri dibandingkan dengan penyimpanan bersuhu lebih rendah.	Lott et al. (2023)
5	Penyimpanan silase alfalfa dalam waktu lama tanpa kontrol fermentasi	Pertumbuhan *Clostridium tyrobutyricum* yang signifikan; dapat ditekan dengan inokulasi bakteri asam laktat.	Yang et al. (2020)
6	Penyimpanan hermetik (membatasi oksigen)	Mengurangi kontaminasi mikroba secara substansial karena terbatasnya ketersediaan oksigen untuk patogen aerob.	Asghar et al. (2022)
7	Inokulasi pakan dengan *Lactobacillus plantarum*	Meningkatkan proses asidifikasi dan menurunkan proliferasi *Clostridium*, sehingga memperbaiki stabilitas pakan secara keseluruhan.	Li et al. (2020)

Durasi penyimpanan turut memperbesar risiko kontaminasi mikroba. Penyimpanan jangka panjang memberikan waktu yang cukup bagi populasi bakteri dan jamur untuk berkembang biak, khususnya dalam kondisi yang tidak optimal. Penelitian pada silase alfalfa menunjukkan bahwa penyimpanan lama tanpa kontrol fermentasi yang tepat memicu pertumbuhan *Clostridium tyrobutyricum* secara signifikan, meski dapat ditekan melalui inokulasi bakteri asam laktat (Yang et al., 2020). Dinamika komunitas bakteri seiring waktu menegaskan perlunya pembatasan waktu penyimpanan atau intervensi tertentu untuk mengelola risiko mikroba secara efektif.

Untuk mengurangi risiko yang terkait dengan penyimpanan pakan, berbagai strategi dapat diterapkan, seperti penyimpanan hermetik, penggunaan inokulan bakteri asam laktat, dan pemeliharaan kadar kelembapan serta suhu yang optimal. Contohnya, penyimpanan hermetik secara signifikan menekan kontaminasi mikroba dengan membatasi ketersediaan oksigen, sehingga menghambat pertumbuhan patogen aerob (Asghar et al., 2022). Demikian pula, inokulasi pakan dengan *Lactobacillus plantarum* dapat meningkatkan proses asidifikasi yang menghambat proliferasi *Clostridium* dan sekaligus memperbaiki stabilitas pakan (Li et al., 2020).

Secara umum, kondisi penyimpanan memegang peran kunci dalam kontaminasi mikroba pada pakan, di mana kelembapan, suhu, dan durasi menjadi faktor paling berpengaruh. Dengan mengoptimalkan parameter-parameter ini dan menerapkan praktik penyimpanan berbasis bukti, risiko kontaminasi bakteri, khususnya dari

Clostridium spp., dapat diminimalkan, sehingga menjamin keamanan serta kualitas pakan.

MEKANISME PROLIFERASI CLOSTRIDIUM DALAM PAKAN

Proliferasi *Clostridium perfringens* dalam pakan ternak berasal dari interaksi antara faktor biologis dan lingkungan kompleks yang menciptakan kondisi optimal bagi pertumbuhannya. Pemahaman mengenai mekanisme ini sangat penting untuk merumuskan strategi pengendalian kontaminasi dan menjaga kesehatan hewan. Untuk memaparkan mekanisme penyebaran *C. perfringens* secara komprehensif, Tabel 2 menyajikan berbagai faktor biologis dan lingkungan yang berkontribusi pada proliferasi bakteri ini dalam pakan.

Tabel- 2. Beberapa hasil penelitian mengenai mekanisme proliferasi *Clostridium perfringens* dalam pakan

No.	Kondisi / Faktor	Dampak / Temuan	Referensi
1	Kemampuan membentuk spora (*C. perfringens*)	Spora bertahan dalam kondisi ekstrem (panas, kekeringan), memungkinkan bakteri tetap dorman dan beraktivasi ketika kondisi lingkungan mendukung.	Hebishy et al. (2023); Lepesteur (2022)
2	Keberadaan toksin NetB (pada plasmid)	Meningkatkan virulensi, berkontribusi terhadap nekrotik enteritis pada unggas.	Fu et al. (2022); Mehdizadeh Gohari et al. (2021)
3	Regulasi produksi toksin (*quorum sensing*, sistem dua-komponen)	Regulasi yang kompleks memastikan kelangsungan hidup dan virulensi pada kondisi pakan yang menguntungkan patogen.	Mehdizadeh Gohari et al. (2021)
4	Pakan tinggi protein atau berbahan dasar tepung ikan	Meningkatkan keparahan nekrotik enteritis dengan peningkatan proliferasi *C. perfringens*.	Mohiuddin et al. (2021)
5	Suplementasi *Lactobacillus plantarum*	Menurunkan jumlah *C. perfringens* melalui penurunan pH dan produksi senyawa antimikroba; juga meningkatkan kualitas fermentasi.	Wang et al. (2021)
6	Silase jagung yang direhidrasi dan disimpan dalam waktu lama	Peningkatan populasi *C. perfringens* yang signifikan, menurunkan kualitas fermentasi dan kandungan nutrisi.	Carvalho-Estrada et al. (2020)
7	Suhu penyimpanan yang meningkat	Mempercepat pertumbuhan bakteri dan kontaminasi, termasuk *C. perfringens*.	Abd El-Hack et al. (2021)
8	Penggunaan probiotik (misalnya kombinasi multi-strain Bacillus)	Menekan kontaminasi *C. perfringens*, meningkatkan keamanan pakan dan kinerja unggas.	Sandvang et al. (2021)

Secara biologis, *C. perfringens* merupakan bakteri pembentuk spora yang dikenal tangguh dalam menghadapi kondisi menantang, yaitu kondisi yang kurang suportif untuk pertumbuhan mikroorganisme (misal: suhu dingin dan kelembaban yang rendah). Sporanya dapat bertahan dalam periode panjang terhadap kekeringan, panas, dan keterbatasan nutrisi, sehingga bakteri ini dapat tetap dorman di dalam pakan dan aktif kembali saat kondisi lingkungan mendukung (Hebishy et al., 2023; Lepesteur, 2022). Karakter

patogeniknya sebagian besar ditentukan oleh kemampuannya memproduksi berbagai toksin poten, misalnya toksin NetB, yang dikodekan pada plasmid konjugatif (Fu et al., 2022; Mehdizadeh Gohari et al., 2021). Toksin-toksin ini berkontribusi signifikan terhadap enteritis nekrotik pada unggas (Abd El-Hack et al., 2022; Fathima et al., 2022). Regulasi produksi toksin ini sangat canggih, melibatkan quorum sensing, sistem dua-komponen, dan faktor-faktor sporulasi. Mekanisme tersebut memungkinkan bakteri mendeteksi sinyal lingkungan dan menyesuaikan produksi toksin, menjamin kelangsungan hidup serta virulensinya dalam lingkungan kaya nutrisi seperti pakan ternak (Mehdizadeh Gohari et al., 2021).

Faktor biologis penting lain ialah preferensi *C. perfringens* terhadap substrat berprotein tinggi. Bahan pakan yang kaya protein seperti tepung ikan atau silase yang terfermentasi buruk menyediakan media pertumbuhan yang ideal bagi bakteri. Penelitian eksperimental menunjukkan bahwa pakan unggas yang mengandung tepung ikan dapat memperburuk tingkat keparahan enteritis nekrotik, ditandai dengan peningkatan populasi bakteri dan lesi usus yang lebih parah (Mohiuddin et al., 2021). Preferensi terhadap protein ini menegaskan perlunya formulasi pakan dan kontrol kualitas yang cermat. Selain itu, interaksi mikroba di dalam pakan juga sangat mempengaruhi dinamika *C. perfringens*. Mikroba menguntungkan, misalnya *Lactobacillus plantarum*, dapat bersaing dengan *C. perfringens* melalui penurunan pH (asidifikasi) serta produksi senyawa antimikroba. Beberapa studi menunjukkan bahwa suplementasi L. plantarum tidak hanya menekan populasi *C. perfringens* tetapi juga meningkatkan kualitas fermentasi silase dengan kadar air tinggi (Wang et al., 2021).

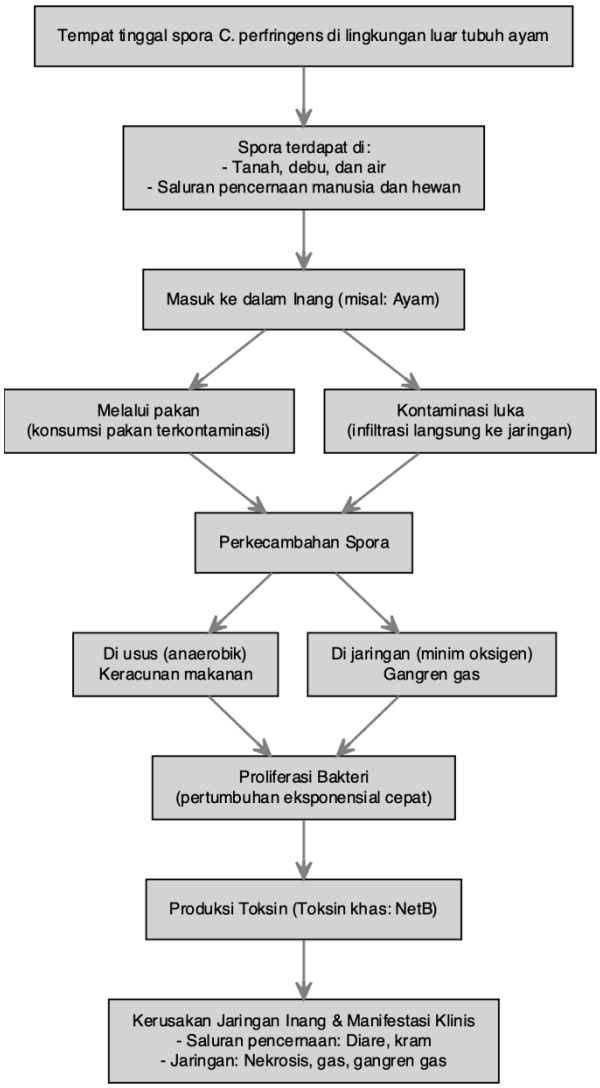
Secara lingkungan, kadar kelembapan merupakan faktor kunci dalam proliferasi *C. perfringens*. Tingkat kelembapan yang tinggi menciptakan kondisi anaerob yang mendukung pertumbuhan bakteri ini. Peningkatan aktivitas air dalam pakan mendorong pertumbuhan bakteri dan proses germinasi spora. Misalnya, silase jagung yang direhidrasi dan disimpan lama memperlihatkan peningkatan signifikan populasi *C. perfringens*, berujung pada penurunan kualitas fermentasi serta hilangnya nutrien (Carvalho-Estrada et al., 2020). Suhu juga menjadi faktor penting, di mana *C. perfringens* tumbuh optimal pada rentang 37°C–47°C. Suhu penyimpanan yang lebih tinggi, khususnya di iklim tropis, mempercepat proliferasi bakteri dan meningkatkan risiko kontaminasi. Pengendalian suhu yang tidak memadai selama penyimpanan pakan diidentifikasi sebagai kontributor utama percepatan pertumbuhan bakteri dan kerusakan pakan (Abd El-Hack et al., 2021).

Durasi penyimpanan semakin memperbesar risiko kontaminasi *C. perfringens*. Periode penyimpanan yang lama memberikan kesempatan bagi spora untuk berkecambah dan populasi bakteri untuk berkembang, terutama dalam pakan berprotein

atau berkadar kelembapan tinggi. Studi terdahulu pada pembuatan silase menunjukkan bahwa penyimpanan dalam jangka panjang dapat mengubah komposisi mikroba, sehingga spesies *Clostridium* cenderung menjadi lebih dominan seiring berjalannya waktu (Carvalho-Estrada et al., 2020). Di samping itu, komposisi pakan juga menentukan kerentanan terhadap kontaminasi bakteri. Bahan pakan dengan protein tinggi, seperti tepung ikan dan sumber protein hewani lainnya, menjadi media pertumbuhan utama bagi *C. perfringens*. Hal ini menegaskan pentingnya pemilihan bahan pakan yang mamya..pu meminimalkan risiko kontaminasi (Mohiuddin et al., 2021).

Praktik kebersihan dan manajemen selama penyimpanan pakan juga krusial dalam mengendalikan *C. perfringens*. Sanitasi yang buruk dapat memicu atau memperburuk risiko kontaminasi. Langkah proaktif, seperti menjaga kebersihan, menurunkan kadar kelembapan, dan mengontrol suhu, sangat diperlukan untuk membatasi pertumbuhan bakteri. Penggunaan probiotik, misalnya kombinasi multi-strain Bacillus, terbukti efektif menekan kontaminasi *C. perfringens*. Suplemen probiotik tidak hanya menghambat proliferasi bakteri, tetapi juga meningkatkan keamanan pakan dan kinerja unggas, sehingga menjadi alat berharga dalam strategi manajemen pakan yang terpadu (Sandvang et al., 2021).

Secara keseluruhan, mekanisme yang melandasi proliferasi *Clostridium perfringens* dalam pakan dibentuk oleh adaptasi biologis bakteri ini dan kondisi lingkungan saat penyimpanan. Strategi untuk mengurangi risiko tersebut harus mencakup pengendalian kelembapan, pengaturan suhu, penyesuaian durasi penyimpanan, serta komposisi pakan, disertai intervensi biologis seperti probiotik. Langkah-langkah ini penting untuk menjamin keamanan pakan, menurunkan kejadian enteritis nekrotik, dan menunjang kesehatan serta produktivitas ternak secara menyeluruh.



Gambar 1. Mekanisme proliferasi dan kontaminasi dari C. perfringens.

Rekomendasi berbasis bukti terkait praktik penyimpanan pakan

Menjamin penyimpanan pakan yang tepat merupakan landasan penting dalam

pencegahan kontaminasi *Clostridium* pada produksi unggas. Meskipun banyak studi menitikberatkan pada aditif pakan dan intervensi formulasi pakan (Ahmad et al., 2022; Chowdhury et al., 2023; Reuben et al., 2019), hanya sedikit yang secara khusus membahas bagaimana parameter penyimpanan (seperti kelembapan, suhu, dan durasi) dapat dioptimalkan untuk mengurangi proliferasi bakteri. Kendati demikian, sintesis hasil penelitian dari berbagai topik terkait pakan menunjukkan serangkaian praktik yang secara kolektif meningkatkan keamanan pakan, menekan kontaminasi mikroba, dan mendukung produksi unggas yang berkelanjutan. Tabel 3 merangkum rekomendasi berbasis bukti terkait praktik penyimpanan pakan yang efektif dalam menekan risiko kontaminasi dan mendukung produksi unggas berkelanjutan.

Pertama, pengendalian kelembapan menjadi hal utama. Kelembapan tinggi memicu pertumbuhan bakteri dan jamur, sehingga meningkatkan risiko kontaminasi *Clostridium perfringens* (Carvalho-Estrada et al., 2020; Li et al., 2020). Di lingkungan tropis dengan suhu tinggi, kadar kelembapan dapat dengan cepat melebihi batas aman, menegaskan perlunya pemeriksaan kelembapan rutin, ventilasi yang memadai, serta kemasan pelindung (Ochieng et al., 2021; Okasha et al., 2024). Sistem penyimpanan hermetik, yang membatasi masuknya oksigen, juga terbukti menurunkan kontaminasi mikroba dan memperpanjang masa simpan pakan (Asghar et al., 2022). Meskipun metode hermetik lebih sering dibahas dalam konteks pencegahan mikotoksin, pendekatan serupa juga efektif mengendalikan kondisi yang mendukung pertumbuhan *Clostridium*.

Tabel- 3. Temuan penelitian yang membangun rekomendasi terkait praktik penyimpanan pakan yang efektif dalam menekan risiko kontaminasi dan mendukung produksi unggas berkelanjutan.

No.	Referensi	Kondisi / Perlakuan	Dampak / Temuan
1	Carvalho-Estrada et al. (2020)	Penyimpanan silase jagung yang direhidrasi dalam jangka waktu lama (hingga 120 hari)	Terjadi peningkatan signifikan populasi *Clostridium* setelah penyimpanan berkepanjangan, menunjukkan pentingnya membatasi durasi penyimpanan serta mengontrol kelembapan dalam pakan.
2	Asghar et al. (2022)	Sistem penyimpanan pakan hermetik (membatasi pasokan oksigen)	Membatasi ketersediaan oksigen sehingga menurunkan kontaminasi mikroba secara drastis; menekan pertumbuhan bakteri patogen dan mempertahankan kualitas pakan.
3	Okasha et al. (2024)	Praktik penyimpanan yang aman dan pemantauan berkala untuk mengatasi bahaya mikotoksin terselubung (“masked”)	Menekankan pentingnya penyimpanan pakan yang tepat dan pemeriksaan rutin untuk mendeteksi mikotoksin terselubung, yang secara tidak langsung juga mengurangi risiko pertumbuhan bakteri dan kerusakan pakan.
4	Ochieng et al. (2021)	Kajian atas pakan yang terkontaminasi mikotoksin di sub-Sahara Afrika	Menemukan kontaminasi yang sering terjadi pada pakan dengan prosedur penyimpanan buruk di wilayah tropis; menyoroti perlunya manajemen kelembapan yang lebih baik dan ventilasi memadai untuk menekan

			risiko mikroba dan toksin.
5	Pietsch et al. (2020)	Suhu penyimpanan yang tinggi (>25°C)	Membuktikan bahwa suhu penyimpanan tinggi mempercepat metabolisme mikroba serta produksi toksin, menunjukkan perlunya pengendalian suhu di fasilitas penyimpanan pakan.
6	Abd El-Hack et al. (2021)	Manajemen pakan dengan kondisi lingkungan yang optimal	Menegaskan bahwa suhu tinggi dan ventilasi yang tidak memadai akan meningkatkan risiko kontaminasi (termasuk *C. perfringens*). Menyarankan pengendalian lingkungan penyimpanan agar kesehatan unggas tetap terjaga.
7	Mohiuddin et al. (2021)	Pakan unggas tinggi protein (mis. tepung ikan) yang disimpan lama	Menunjukkan bahwa pakan kaya protein memudahkan *C. perfringens* untuk berproliferasi selama penyimpanan berkepanjangan, sehingga perlu kombinasi antara pengaturan nutrisi dan strategi penyimpanan yang cermat.
8	Chowdhury et al. (2023)	Pendekatan terintegrasi (senyawa alami, pencegahan biofilm) dalam produksi unggas	Meskipun berfokus pada pencegahan biofilm bakteri, studi ini menekankan perlunya pengelolaan kontaminasi secara menyeluruh, termasuk higienitas penyimpanan pakan, demi meningkatkan kesehatan unggas dan keamanan pangan.
9	Gómez-Osorio et al. (2021)	Penerapan asam lemak rantai pendek dan menengah (SCFA/MCFA) dalam pakan	Menunjukkan bahwa asam organik dapat menurunkan jumlah *C. perfringens*. Jika diaplikasikan dengan benar saat penyimpanan, akan membantu menjaga keseimbangan mikroba dan menekan kejadian nekrotik enteritis.
10	Li et al. (2020)	Penyimpanan anaerob basah biomassa dengan penambahan asam atau bahan kimia tertentu	Pengasaman bahan pakan dengan kadar air tinggi efektif menurunkan pertumbuhan bakteri (termasuk *Clostridium* spp.), menegaskan pentingnya perlakuan pakan yang dikombinasikan dengan praktik penyimpanan yang baik.
11	Obe et al. (2023)	Strategi di tingkat peternakan untuk menekan *Salmonella* (termasuk kebersihan pakan)	Walau fokus pada *Salmonella*, studi ini menyoroti praktik kebersihan pakan sebagai titik kendali krusial. Penyimpanan yang baik (membersihkan silo, mengatur kelembapan) menurunkan risiko patogen pada sistem produksi unggas.

Kedua, regulasi suhu selama penyimpanan membantu menekan proliferasi bakteri. Menjaga suhu pakan di bawah 25°C, misalnya, memperlambat metabolisme mikroba dan produksi toksin (Pietsch et al., 2020). Walau pengendalian suhu secara penuh dapat menjadi tantangan di wilayah tertentu, langkah strategis dapat membantu meredam kenaikan suhu, seperti memasang insulasi pada fasilitas penyimpanan, menggunakan bahan atap reflektif, atau mengatur jadwal pengiriman agar waktu penyimpanan di lokasi tidak terlalu lama (Abd El-Hack et al., 2021). Langkah-langkah

ini tidak hanya menurunkan risiko *C. perfringens*, tetapi juga mencegah kerusakan oleh patogen dan penghasil toksin lainnya.

Ketiga, mempersingkat durasi penyimpanan, bila memungkinkan, merupakan strategi efektif untuk mengatasi kontaminasi *Clostridium*. Penyimpanan yang lama memberikan kesempatan bagi spora dorman untuk berkecambah dan berkembang, terutama dalam pakan yang kaya nutrisi atau protein (Carvalho-Estrada et al., 2020; Mohiuddin et al., 2021). Melakukan rotasi stok pakan lebih sering, menerapkan sistem "first-in, first-out," serta membeli pakan dalam jumlah lebih kecil sesuai kebutuhan konsumsi dapat memperpendek rentang waktu bagi mikroba untuk tumbuh (Okasha et al., 2024). Langkah tersebut dapat diikuti dengan pemantauan rutin (melalui uji mikroba cepat atau pengambilan sampel berkala) untuk mendeteksi kontaminasi sejak dini dan memfasilitasi tindakan korektif tepat waktu.

Keempat, penerapan aditif pendukung juga dapat semakin mengamankan pakan yang disimpan. Meskipun tujuan utama aditif seperti asam organik, probiotik, atau pengikat mikotoksin kerap difokuskan pada kesehatan usus atau penurunan paparan mikotoksin, aditif ini juga dapat secara tidak langsung menghambat proliferasi *Clostridium* dengan mengubah pH pakan atau mengikat kontaminan sebelum dicerna (Chowdhury et al., 2023; Gomez-Osorio et al., 2021; Okasha et al., 2024). Misalnya, pengasaman silase atau pakan dengan kadar air tinggi terbukti membatasi pertumbuhan bakteri, sehingga memunculkan potensi kombinasi antara penyimpanan yang cermat dan strategi aditif terarah (Li et al., 2020).

Terakhir, protokol sanitasi dan penanganan yang ketat tidak dapat diabaikan. Infrastruktur penyimpanan terbaik sekalipun dapat gagal apabila kebersihannya rendah. Membersihkan tempat penyimpanan dan peralatan transportasi di antara setiap pergantian batch pakan, menutup celah yang memungkinkan masuknya hama, serta melatih pekerja untuk mengenali tanda awal kerusakan pakan merupakan bagian integral dari rencana komprehensif keamanan pakan (Chowdhury et al., 2023). Langkah-langkah ini juga mencegah kontaminasi silang di antara berbagai jenis pakan, sehingga mengurangi peluang spora yang telah ada berkembang di tahap berikutnya. Secara keseluruhan, penyimpanan pakan yang efektif untuk meminimalkan kontaminasi *Clostridium* bertumpu pada lima pilar utama: pengendalian kelembapan, pengaturan suhu, pembatasan durasi penyimpanan, penggunaan aditif yang tepat, dan penerapan sanitasi yang teliti. Dengan mengimplementasikan rekomendasi berbasis bukti ini, para produsen dapat secara signifikan menekan proliferasi bakteri dalam pakan yang disimpan, sekaligus meningkatkan kesehatan unggas, melindungi produktivitas, dan menopang intensifikasi industri secara berkelanjutan (Abd El-Hack et al., 2021; Okasha et al., 2024; Ochieng et al., 2021).

KESIMPULAN

Keberhasilan produksi unggas yang berkelanjutan sangat bergantung pada manajemen pakan yang efektif dalam mengurangi kontaminasi *Clostridium perfringens.* Kajian ini menyoroti bahwa kondisi penyimpanan, terutama kelembapan, suhu, dan durasi, serta penggunaan intervensi strategis (seperti penyimpanan terkontrol, penambahan aditif pakan, dan protokol sanitasi yang ketat) memainkan peran kunci dalam menjaga kualitas pakan. Penerapan rekomendasi berbasis bukti tersebut berpotensi meningkatkan keamanan pakan, kesehatan usus, dan produktivitas unggas. Penelitian selanjutnya diharapkan dapat mengembangkan inovasi teknologi dan formulasi pakan guna mendukung keberlanjutan produksi unggas.

DAFTAR PUSTAKA

Abd El-Hack, M. E., M.T. El-Saadony, A.R. Elbestawy, N.A. El-Shall, A.M.Saad, H. M.Salem, A. M. El-Tahan, A. F. Khafaga, A.E.Taha, S. F.AbuQamar, and K. A.El-Tarabily. 2022. Enteritis nekrotik in broiler chickens: Disease characteristics and pr evention using organic antibiotic alternatives – a comprehensive revie w. Poultry Science, 101(2), 101590.

Abd El-Hack, M. E., M.T.El-Saadony, A. M.Shehata, M.Arif, V. K.Paswan, G. E.S.Batiha, A. F.Khafaga, and A. R. Elbestawy. 2021. Approaches to prevent and control Campylobacter spp. Colonization in broiler chickens: A review. Environmental Science and Pollution Research, 28(5), 4989–5004.

Ahmad, R., Y.H.Yu, F. S. Hsiao, A. Dybus, I.Ali, H.C.Hsu, and Y.H. Cheng. 2022. Probiotics as a Friendly Antibiotic Alternative: Assessment of Their Effects on the Health and Productive Performance of Poultry. Fermentation, 8(12), 672.

Asghar, M. A., F. Ahmed, S.Jabeen, M. U. Bhurgri, H. Asif, and K.Hussain. 2022. Effects of climatic conditions and hermetic storage on the growth of A spergillus parasiticus and aflatoxin B1 contamination in basmati rice. Journal of Stored Products Research, 96, 101944.

Carvalho-Estrada, P. de A., J.Fernandes, É. B. da Silva,P.Tizioto, S. de F. Paziani, A. P.Duarte, L.L.Coutinho, M. C. Q.Verdi, and L. G.Nussio,. 2020. Effects of hybrid, kernel maturity, and storage period on the bacterial community in high-moisture and rehydrated corn grain silages. Systematic and Applied Microbiology, 43(5), 126131.

Chowdhury, Md. A. H., Md.Ashrafudoulla, S. I. U.Mevo, F. R.Md.Mizan, S.H. Park and S.D.Ha. 2023. Current and future interventions for improving poultry health and poultry food safety and security: A comprehensive review. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 22(3), 1555–1596.

Emami, N. K. and R. A.Dalloul. 2021. Centennial Review: Recent developments in host-pathogen interactions d uring enteritis nekrotik in poultry. Poultry Science, 100(9), 101330.

Erdaw, M. 2023. Contribution, prospects and trends of livestock production in sub-Saha ran Africa: A review. International Journal of Agricultural Sustainability.

Erdaw, M., and W.Beyene. 2022. Trends, prospects and the socio-economic contribution of poultry produ ction in sub-Saharan Africa: A review. Worlds Poultry Science Journal.

Falcon, W., R.Naylor, and D. S.Nikhil. 2022. Rethinking Global Food Demand for 2050. Population and Development Review.

Fathima,S.,W.G.Hakeem,R.Shanmugasundara m,and R. K.Selvaraj. 2022. Enteritis nekrotik in Broiler Chickens: A Review on the Pathogen, Pathogenesis, and Prevention. Microorganisms, 10(10).

Fu, Y., T.Alenezi, and X.Sun. 2022. Clostridium perfringens-Induced Necrotic Diseases: An Overview. Immuno, 2(2),

Gomez-Osorio, L.-M., V.Yepes-Medina, A. Ballou, M. Parini, and R.Angel. 2021. Short and Medium Chain Fatty Acids and Their Derivatives as a Natural Strategy in the Control of Enteritis nekrotik and Microbial Homeostasis in Broiler Chickens. Frontiers in Veterinary Science, 8.

Hebishy,O.Yerlikaya, J.Mahony. A. Akpinar and D.Saygili. 2023. Microbiological aspects and challenges of whey powders – I thermoduric, thermophilic and spore-forming bacteria. International Journal of Dairy Technology, 76(4), 779–800.

Lepesteur, M. 2022. Human and livestock pathogens and their control during composting. Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 52(10), 1639–1683.

Li, R., D.Jiang, M.Zheng, P.T.M. Zheng, and C.Xu. 2020. Microbial community dynamics during alfalfa silage with or without clo stridial fermentation. Scientific Reports, 10(1).

Lott, T. T., M.Wiedmann, and N.H.Martin. 2023. Shelf-life storage temperature has a considerably larger effect than high-temperature, short-time pasteurization temperature on the growth of spore-forming bacteria in fluid milk. Journal of Dairy Science, 106(6), 3838-3855.

Mafruchati, M., K. A.Wardhana, and W. I. Wan Ismail. 2022. Disease and viruses as negative factor prohibiting the growth of broil er chicken embryo as research topic trend: A bibliometric review. F1000Research, 11, 1124.

Mehdizadeh Gohari, I.A., M.Navarro, J.Li, A.Shrestha,F.Uzal, and B.A. McClane. 2021. Pathogenicity and virulence of Clostridium perfringens. Virulence, 12(1), 723–753.

Mohiuddin, M., W.Yuan, Z.Song, S.Liao, N.Qi, J.Li, M.Lv, C.Wu, X.Lin, J.Hu, H.Cai, and M.Sun. 2021. Experimental induction of enteritis nekrotik with or without predispos ing factors using netB positive Clostridium perfringens strains. Gut Pathogens, 13(1).

Obe, T., , T.BoltzKogut, M.Ricke, S.C.L. A.Brooks, K.Macklin, and A Peterson. 2023. Controlling Salmonella: Strategies for feed, the farm, and the processing plant. Poultry Science, 102(12), 103086.

Ochieng, P. E., M.L.Scippo, D. C. Kemboi, S.Croubels, S.Okoth, E. K.Kang'ethe, B.Doupovec, J. K.Gathumbi, J. F. Lindahl, and G.Antonissen. 2021. Mycotoxins in Poultry Feed and Feed Ingredients from Sub-Saharan Afric a and Their Impact on the Production of Broiler and Layer Chickens: A Review. Toxins, 13(9), 633.

OECD/FAO.2024. OECD-FAO Agricultural Outlook 2024-2033, OECD Publishing, Paris/FAO, Rome,

Okasha, H., B.Song, and Z.Song. 2024. Hidden Hazards Revealed: Mycotoxins and Their Masked Forms in Poultry. Toxins, 16(3).

Oni, A., O.Adeleye, T. Adebowale, and O.Oke 2023. The role of phytogenic feed additives in stress mitigation in broiler chickens. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition.

Pesti, G. M. and M.Choct. 2023. The future of feed formulation for poultry: Toward more sustainable pr oduction of meat and eggs. Animal Nutrition, 15, 71–87.

Pietsch, C., M. Georg, M.Sulayman, C. Simon, and K., B. 2020. Occurrence of Fungi and Fungal Toxins in Fish Feed during Storage. Toxins.

Reuben, R. C., P.C.Roy, S.L.Sarkar, R.U.Alam, and I. K.Jahid.2019. Isolation, characterization, and assessment of lactic acid bacteria toward their selection as poultry probiotics. BMC Microbiology, 19(1), 253.

Sandvang, D., L.Skjoet-Rasmussen, M. D. Cantor, G. F. Mathis, B. S. Lumpkins, and A.Blanch.2021.Effects of feed supplementation with 3 different probiotic Bacillus st rains and their combination on the performance of broiler chickens cha llenged with Clostridium perfringens. Poultry Science, 100(4), 100982.

Wang, J., S. Su, C.Pender, Murugesan, R.B. Syed, and W. K.Kim 2021. Effect of a phytogenic feed additive on growth performance, nutrient digestion, and immune response in broiler-fed diets with two different levels of crude protein. Animals, 11(3), 1–11.

Yang, C., , G. Song and W. Lim. 2020. Effects of mycotoxin-contaminated feed on farm animals. Journal of Hazardous Materials, 389, 122087.