

BAB I PENDAHULUAN UMUM

1.1. Latar Belakang

Telur ayam konsumsi sebagai salah satu sumber protein hewani, kaya akan nutrisi yang dapat dikonsumsi oleh berbagai kalangan masyarakat. Telur ayam merupakan salah satu produk peternakan yang mudah ditemukan, diolah dan terjangkau oleh semua lapisan masyarakat. Permintaan telur ayam ras tahun 2021 di Indonesia mengalami surplus sebesar 615.100 ton/bulan. Kondisi ini disertai peningkatan produksi sebesar 14,92% dan permintaan pasar sebesar 4,81% dari tahun sebelumnya (BPS Indonesia, 2022a). Sulawesi Selatan menjadi penghasil telur ayam ras keenam terbesar di Indonesia dan memberikan kontribusi 3,4% terhadap total produksi telur ayam ras konsumsi nasional serta memiliki *supply demand* tertinggi di luar Pulau Jawa, Sumatera, dan Bali (BPS Indonesia, 2021, 2022a, 2022b). Data tersebut menunjukkan bahwa Sulawesi Selatan memiliki potensi yang besar untuk meningkatkan produksi telur ayam ras konsumsi di Kawasan Timur Indonesia (KTI).

Meskipun demikian, peningkatan produksi tidak boleh hanya terbatas pada kuantitas tetapi juga pada kualitas yang mencakup di dalamnya keamanan pangan. Saat ini regulasi dan standar keamanan pangan berkembang di seluruh dunia sebagai bentukantisipasi dalam menghadapi dampak terhadap resiko keamanan pangan. Perbedaan antar negara terkait penerapan regulasi dan standar keamanan pangan dapat menyebabkan perselisihan perdagangan internasional yang dapat mempengaruhi perdagangan dan pola permintaan pangan global (United States Department of Agriculture [USDA], 2003). Salah satu media di Singapura menuliskan bahwa sejumlah telur yang diimpor dari sebuah peternakan di Malaysia ditarik kembali karena adanya bakteri yang menyebabkan keracunan makanan, sehingga keenam perusahaan lainnya yang mengimpor telur terkena dampak dengan menarik kembali telur yang telah didistribusikan ke pengecer di Singapura sebagai tindakan pencegahan (Singapore Food Agency [SFA], 2022). Hal tersebut menunjukkan bahwa keamanan pangan selain berdampak terhadap kesehatan manusia juga terhadap perekonomian suatu negara.

Tingkat konsumsi telur ayam ras di Indonesia cukup tinggi hingga mencapai 5,57 kg per kapita/tahun pada 2017 (Our World in Data, 2018) dan akan terus meningkat setiap tahunnya. Tentunya pemerintah Indonesia senantiasa berupaya melindungi konsumen dengan penerapan kebijakan keamanan pangan produk telur ayam segar. Kebijakan tersebut, tertuang dalam SNI 01-6366-2000 berupa kontaminasi dari makanan oleh bahan biologis, kimia dan bahan berbahaya lainnya disebut juga sebagai *foodborne disease*. Salah satu cemaran biologis yang secara spesifik diatur batas maksimum cemaran pada telur adalah *Staphylococcus aureus* sebesar $<1 \times 10^2$ CFU/gr (Badan Standardisasi Nasional [BSN], 2000). Beberapa fakta menunjukkan adanya cemaran bakteri ini, diantaranya pada telur ayam ras di Bangladesh yang tercemar *Staphylococcus* spp. dan *S. aureus* pada permukaan kerabang ayam berturut-turut sebesar 20,45% dan 10,45% (Pondit et al., 2018a). Menurut (Stępień-Pyśniak et al., 2009) bahwa telur yang berasal dari peternakan unggas skala kecil dapat terkontaminasi *S. aureus* dan sering ditemukan pada kuning telur dan cangkangnya. Selain itu juga

ditemukan 75% sampel telur ayam ras yang dijual di Swalayan memiliki total bakteri *S. aureus* di atas standar SNI $>1 \times 10^2$ CFU/g (Rikamalia & Rastina., 2018).

Sebagaimana diketahui *S. aureus* bersifat patogen dan membahayakan kesehatan manusia apabila mengkontaminasi telur ayam, yang disebut sebagai *foodborne disease*. *S. aureus* juga mampu menghasilkan toksin yang tahan panas apabila mengkontaminasi makanan (Podkowik et al., 2013). Kontaminasi bakteri ini pada makanan menyebabkan keracunan yang menyebabkan sindrom syok toksik di seluruh dunia sehingga menjadi tantangan dalam penanggulangannya. Dampak dari mengkonsumsi telur yang tercemar oleh *S. aureus* juga diketahui menyebabkan terjadinya wabah keracunan makanan terhadap 21 dari 53 pekerja di Jepang setelah mengkonsumsi telur yang mengandung 20–40 ng/g *Staphylococcus* Enterotoxin A (SEA) dan 3,0310 /gram sel *S. aureus* (Miwa et al., 2001). Menurut (Vitale & Schillaci, 2016) bahwa beberapa strain *Staphylococcus* dapat menghasilkan eksotoksin (staphylococci enterotoksigenik) yang menyebabkan keracunan makanan, dimana *Staphylococcus* teridentifikasi memiliki serotipe eksotoksin stafilocokus klasik (A hingga E), dan yang lebih baru (G hingga J). Gejala yang muncul umumnya berupa mual, muntah, kram perut, dan diare, biasanya bermanifestasi dalam waktu 30 menit hingga 8 jam setelah konsumsi makanan yang mengandung enterotoksin dari *S. aureus* (Grace & Fetsch, 2018). Hasil penelitian (Syed et al., 2018) juga menunjukkan dari isolat telur ayam ras konsumsi yang positif terkontaminasi *S. aureus* diketahui 86,8% positif Methicillin-Resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA). Hasil penelitian Selain itu terdapat kesamaan genetik MRSA telur ayam ras konsumsi dengan infeksi pada manusia, diduga penularan dari manusia ke unggas melalui kontaminasi telur tersebut. Hasil-hasil penelitian tersebut diatas menunjukkan bahwa *S. aerus* dapat ditemukan sepanjang jalur distribusi pangan mulai dari peternakan sampai konsumen.

Perkembangan media informasi dan komunikasi seperti Instagram, Facebook, berita online, WhatsApp dan sebagainya berdampak pada kemudahan masyarakat dalam mengakses informasi keamanan pangan. Informasi tersebut menumbuhkan kesadaran masyarakat sebagai konsumen akan pentingnya kualitas dan keamanan pangan. Kontaminasi bahan-bahan yang berbahaya bagi manusia dapat terjadi di setiap mata rantai makanan, mulai dari pra-produksi hingga produksi, pasca-produksi hingga distribusi, dan pengiriman produk ke konsumen. Oleh karena itu penyediaan pangan asal hewan yang aman sangat penting untuk memberi penjaminan kewanamanan pada konsumen. Untuk itulah penelitian eksplorasi titik kendali kritis kontaminasi *S. aureus* pada telur ayam konsumsi perlu dilakukan sedini mungkin secara komprehensif. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi dan rekomendasi kepada masyarakat sehubungan tindakan pencegahan *foodborne disease* (penyakit menular melalui pangan) yang salah satunya akibat dari mengkonsumsi telur ayam ras yang terkontaminasi bakteri patogen.

1.2. Rumusan Masalah

Penelitian eksplorasi *Staphylococcus aureus* pada titik kendali kritis kontaminasi telur ayam konsumsi dirancang untuk menjawab permasalahan berikut ini:

- a. Dimana saja titik kendali kritis kontaminasi *Staphylococcus aureus* pada jalur distribusi telur ayam ras konsumsi?
- b. Bagaimanakah karakteristik *Staphylococcus aureus* pada titik kendali kritis kontaminasi telur ayam ras konsumsi?
- c. Bagaimanakah hubungan populasi *Staphylococcus aureus* pada titik kendali kritis kontaminasi telur ayam ras konsumsi terhadap penerapan higiene sanitasi?

1.3. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi *Staphylococcus aureus* pada titik kendali kritis kontaminasi telur ayam konsumsi dengan fokus pada tiga tujuan berikut:

- a. Menentukan titik kendali kritis kontaminasi *Staphylococcus aureus* jalur distribusi telur ayam ras konsumsi
- b. Mengidentifikasi dan mengklasifikasikan *Staphylococcus aureus* pada titik kendali kritis kontaminasi telur ayam ras konsumsi
- c. Menemukan dan menganalisis hubungan antara populasi *Staphylococcus aureus* pada titik kendali kritis kontaminasi telur ayam ras konsumsi serta penerapan higiene sanitasi

1.4. Kegunaan Penelitian

Hasil penelitian ini memberi data dan informasi mengenai letak titik-titik kendali kritis, faktor resiko kontaminasi *S. aureus* yang dihasilkan pada telur ayam ras konsumsi. Data yang diperoleh dapat digunakan sebagai dasar pertimbangan dalam merancang HACCP untuk proses penanganan dan pengolahan telur ayam ras sehingga dapat mencegah berbagai kerugian tidak hanya kesehatan tetapi juga dampak ekonomi.

1.5. Ruang Lingkup Penelitian

Penelitian mengenai eksplorasi *S. aureus* pada titik kendali kritis kontaminasi telur ayam konsumsi dilakukan dalam tiga tahapan. Secara terperinci tahapan penelitian sebagai berikut

- a. Tahap 1 (Penentuan titik kendali kritis cemaran *Staphylococcus aureus* pada jalur distribusi telur ayam konsumsi). Pada tahap ini dilakukan analisis penentuan titik kendali kritis cemaran pada titik-titik yang diduga merupakan faktor resiko kontaminasi *Staphylococcus aureus*
- b. Tahap 2 (Identifikasi dan klasifikasi *Staphylococcus aureus* pada titik kendali kritis kontaminasi telur ayam konsumsi). Pada tahap ini dilakukan identifikasi dan klasifikasi kontaminasi *Staphylococcus aureus* pada titik kendali kritis cemaran
- c. Tahap 3 (Analisis hubungan antara populasi *Staphylococcus aureus* dan penerapan higiene sanitasi pada titik kendali kritis cemaran telur ayam konsumsi). Pada tahap ini dilakukan observasi lapangan dan analisis terhadap banyaknya populasi *Staphylococcus aureus*

1.6. Kebaruan Penelitian

Beberapa penelitian terkait tingkat cemaran *S. aureus* pada telur ayam telah dilakukan dan dirangkum pada Tabel 1.

Tabel 1 State of the art dan kebaruan penelitian

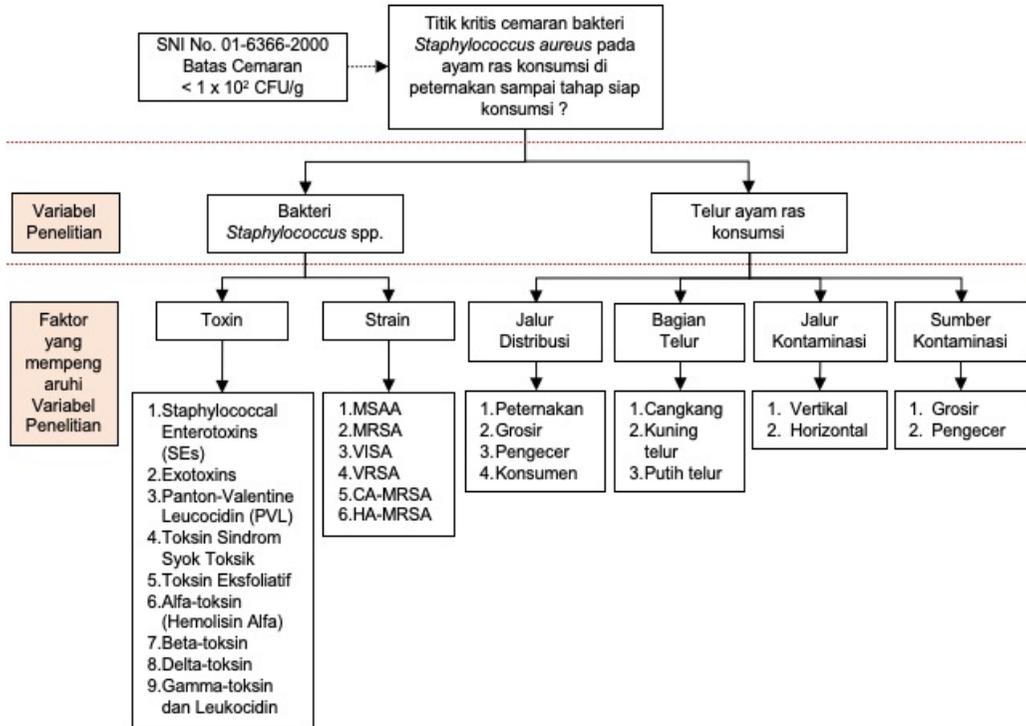
No	Peneliti	Pertanyaan Penelitian	Kelebihan	Kekurangan
1	(Pondit et al., 2018b)	Bagaimana prevalensi dan karakteristik <i>S. aureus</i> dari cangkang telur ayam dan puyuh di Bangladesh	Menjelaskan kontaminasi tertinggi pada kulit telur oleh <i>Staphylococcus</i> spp. dan mengidentifikasi keberadaan MRSA yang diduga berasal dari toko pengecer dan peternakan	<ul style="list-style-type: none"> • Tidak menggambarkan sampai mana penetrasi <i>Staphylococcus</i> spp. dan MRSA pada telur • Tidak menguji dan menganalisis sampel yang diduga menjadi faktor resiko terhadap infeksi
2	(Anosa et al., 2019)	Bagaimana prevalensi <i>S. aureus</i> yang MRSA pada telur ayam konsumsi di Enugu, Nigeria	Menjelaskan keberadaan <i>S. aureus</i> dan MRSA pada kerabang dan isi telur ayam konsumsi yang berasal dari pedagang eceran dan peternakan	Tidak menganalisis yang diduga menjadi faktor resiko MRSA pada telur ayam konsumsi
3	(Szafraniec et al., 2020)	Bagaimana karakteristik <i>Staphylococcus agnetis</i> di peternakan ayam broiler serta patogenesa, epidemiologi, dan cara penularan	Membahas hubungan antara <i>S. agnetis</i> dan <i>S. aureus</i> mencakup kesamaan genetik, virulensi, dan mekanisme bertahan hidup sehingga dapat menjadi referensi dalam konteks epidemiologi dan pengendalian penyakit pada unggas sejak di peternakan	Tidak melakukan studi empiris pada berbagai wilayah geografis yang berbeda, sehingga masih kurang memahami mekanisme molekuler virulensi dan adaptasi genus <i>Staphylococcus</i>
4	(Anton et al., 2020a)	Bagaimana kualitas mikrobiologi dan apa faktor resiko	Menjelaskan kaitan antara kualitas mikrobiologi (Coliform dan <i>E. coli</i>)	Masih terbatas pada jumlah mikroba dan faktor resiko terbatas

No	Peneliti	Pertanyaan Penelitian	Kelebihan	Kekurangan
		potensial pada telur ayam konsumsi di Wilayah Kota Jakarta Timur Provinsi DKI Jakarta	dan faktor risiko (tempat display, paparan matahari, kebersihan telur, penyejuk ruangan) yang dijual di pasar tradisional dan supermarket	hanya pada aspek lingkungan
5	(El Ftouhy et al., 2022)	Bagaimana tingkat kontaminasi bakteri pada kulit dan isi telur ayam konsumsi pada penjual formal dan informal di Maroko	Membandingkan tingkat kontaminasi 12 jenis bakteri yang ditemukan pada telur ayam konsumsi yang dijual pada sektor formal dan informal	Tidak menguji dan menganalisis sampel yang diduga menjadi faktor resiko terhadap infeksi pada telur ayam konsumsi

Berdasarkan beberapa penelitian 5 tahun terakhir, diketahui hingga saat ini penelitian mengenai kontaminasi bakteri pada telur ayam ras konsumsi masih terbatas pada tingkat prevalensinya dan belum terdapat kajian mengenai titik kendali kritis cemaran bakteri *S. aureus* beserta faktor-faktor yang mempengaruhi berdasarkan isolat yang diperoleh. Berkaitan hal ini, diperlukan penelitian eksplorasi kontaminasi *S. aureus* pada titik-titik kendali kritis telur ayam konsumsi beserta yang berpotensi atau telah membahayakan kesehatan manusia dalam rangka pemenuhan gizi protein hewani serta penggunaannya dalam produk pangan lainnya untuk konsumsi masyarakat. Berdasarkan Tabel 1, maka kebaharuan pada penelitian ini adalah menganalisis berbagai aspek yang diduga menjadi faktor resiko kontaminasi *S. aureus* mulai dari peternakan sampai dengan pedagang sebagai titik kendali kritis, mengidentifikasi secara molekular *S. aureus* pada titik kendali kritis, dan menganalisis hubungan antara populasi *S. aureus* dengan penerapan higiene sanitasi pada TTK tersebut.

1.7. Kerangka Pikir Penelitian

Kerangka penelitian (Gambar 1). berfokus pada identifikasi titik kritis cemaran bakteri *S. aureus* pada ayam ras konsumsi dari peternakan hingga distributor. Variabel penelitian adalah bakteri *S. aureus* dan telur ayam ras konsumsi sebagai objek penelitian. Standar yang digunakan pada penelitian ini mengacu pada SNI Nomor 01-6366-2000 yang menguraikan batas cemaran *S. aureus* yang aman kurang dari 1×10^2 CFU/g. Penelitian ini bertujuan untuk memahami titik-titik kritis kontaminasi *S. aureus* pada telur ayam ras konsumsi dengan mempertimbangkan faktor-faktor yang diduga mempengaruhi kontaminasi antara lain toksin yang dihasilkan, strain, jalur distribusi, serta jalur dan sumber kontaminasi sesuai standar keamanan pangan.



Gambar 1 Kerangka Pikir Penelitian

BAB II *Staphylococcus aureus* SEBAGAI FOODBORNE PATOGEN PADA TELUR DAN PRODUK TELUR DI INDONESIA: REVIEW

2.1. Abstrak

AMINAH HAJAH THAHA. *Staphylococcus aureus* sebagai Foodborne Patogen Pada Telur dan Produk Telur di Indonesia: Tinjauan (dibimbing oleh Ratmawati Malaka, Wahniyati Hatta, dan Fatma Maruddin).

Staphylococcus aureus merupakan bakteri gram positif yang umumnya terdapat pada kulit dan mukosa manusia serta hewan. Tinjauan ini mengkaji artikel penelitian terkait kontaminasi *S. aureus* pada telur dan produk olahannya dalam kurun waktu 10 tahun. Bertujuan untuk menggambarkan insidensi *S. aureus* dan *Methicillin-Resistant Staphylococcus aureus* (MRSA) di Indonesia dibandingkan dengan beberapa negara lain. Bakteri ini memiliki faktor virulensi yang dapat menghasilkan toksin sehingga dapat menyebabkan gejala keracunan bagi masyarakat jika mengkonsumsi telur dan produk olahan yang terkontaminasi. Ancaman lainnya berupa MRSA merupakan strain *S. aureus* yang resisten terhadap beberapa jenis antibiotik, termasuk tetrasiklin, amoksisilin, ampicilin, siprofloksasin, seftriakson, beta-laktam, dan azitromisin. Berdasarkan Standar Nasional Indonesia, kontaminasi *S. aureus* yang masih aman pada telur unggas segar sebanyak $<1 \times 10^2$ koloni/g, dan telur olahan dari telur asin sebanyak $<1 \times 10^1$ koloni/g, sedangkan makanan olahan dari telur dasar, misalnya, puding harus negatif/gram. Bakteri ini diketahui telah menyebar diseluruh penjuru dunia termasuk Indonesia sehingga penting untuk meningkatkan kewaspadaan dari berbagai pihak.

Kata Kunci: Foodborne Disease; *Methicillin-Resistant Staphylococcus aureus* (MRSA), Telur dan produk telur.

2.2. Pendahuluan

Jaminan ketersediaan pangan asal hewan yang aman sangat penting untuk menjamin ketenangan konsumen. Kontaminasi manusia dengan bahaya fisik, kimia, dan biologis dapat terjadi sejak pra produksi di produsen hingga pasca produksi pada titik-titik penting penyaluran produk kepada konsumen. Salah satu bahayanya adalah *foodborne diseases*. Bahaya tersebut tentu saja mengancam konsumsi telur sebagai salah satu sumber protein hewani bagi masyarakat sekaligus kesehatan manusia apabila mengkonsumsi telur yang terkontaminasi mikroba patogen. Berdasarkan data (Roser, 2019), tingkat konsumsi telur per kapita di Asia Tenggara pada tahun 2020 sebesar 20,94 kg/tahun, lebih tinggi dibandingkan dengan telur per kapita dunia yang sebesar 10,33 kg/tahun. Data tersebut juga menunjukkan bahwa Malaysia menempati peringkat pertama di Asia Tenggara dengan tingkat konsumsi telur per kapita sebesar 17,29 kg, disusul Indonesia (15,72 kg/tahun) dan Kamboja (1,15 kg/tahun). Dengan demikian, foodborne disease mengancam kesehatan manusia, dan ketahanan pangan menjadi faktor yang harus diperhatikan.

Beberapa mikroorganisme patogen, termasuk *Salmonella* spp., *Escherichia coli*, dan *Staphylococcus aureus*, menyebabkan foodborne disease pada telur (Badan Standarisasi Nasional [BSN], 2009; Food and Agriculture Organization [FAO], 1997;

Sparks, 2014; Thaha et al., 2020). *S. aureus* belum sepopuler bakteri patogen lain pada telur segar. Oleh karena itu, wabah foodborne disease di seluruh dunia telah menjadi perhatian sektor kesehatan masyarakat karena perlunya tindakan pencegahan dan pengendalian yang membutuhkan biaya besar di beberapa negara (Awany et al., 2018; Robertson, 2020). *Staphylococcus aureus* merupakan jawaban yang tepat untuk berbagai infeksi pada manusia dan hewan. Bakteri yang terkontaminasi dalam makanan menyebabkan keracunan dan sindrom syok makanan, yang merupakan racun di seluruh dunia (Vitale & Schillaci, 2016). Pada hewan, *S. aureus* menyebabkan penyakit yang mengakibatkan kerugian ekonomi yang signifikan bagi sapi perah karena mastitis (Awany et al., 2018; Vitale & Schillaci, 2016). *Staphylococcus aureus* memiliki faktor virulensi, termasuk katalase, enzim yang dapat memecah H_2O_2 menjadi H_2O dan O_2 ; koagulase, protein seperti enzim yang dapat menggumpalkan plasma oksalat atau plasma sitrat; hemolisin, toksin yang dapat membentuk zona hemolisis di sekitar koloni bakteri; dan leukosidin, toksin yang dapat merusak sel darah putih pada beberapa hewan.

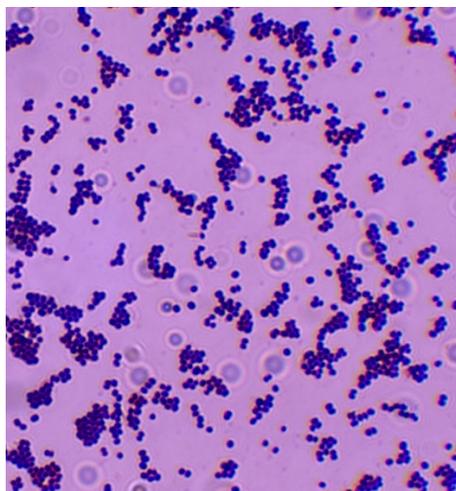
Enterotoksin adalah enzim yang tahan terhadap kondisi basa di usus. Toksin ini dapat menyebabkan demam, syok, ruam kulit, dan gangguan organ multisistem dalam tubuh (Gnanamani et al., 2017; Sadowska et al., 2002; Tirpude & Batra, 2012). *Staphylococcus aureus* merupakan bakteri Gram positif berbentuk kokus dengan flora normal pada kulit dan mukosa manusia dan hewan. Bakteri ini resisten terhadap berbagai macam antibiotik, seperti yang ditunjukkan dalam penelitian selama 90 hari pada manusia yang terinfeksi (Escrhuela-Vidal et al., 2022). Selain pada ternak, bakteri dapat mencemari berbagai bahan pangan asal hewan termasuk susu, daging, dan telur. *Foodborne* patogen pada telur menarik untuk diteliti mengingat produk ini mudah diperoleh dan dikonsumsi oleh banyak kalangan di seluruh dunia. Banyak penelitian telah dilakukan terhadap kontaminasi telur yang disebabkan oleh *Salmonella* spp. dan *E. coli* (Adesiyun et al., 2020; Okorie-Kanu et al., 2016); namun, infeksi *S. aureus* pada telur di Indonesia belum diteliti secara menyeluruh dan prevalensinya terbatas. Tinjauan ini bertujuan untuk menggambarkan karakteristik dan insidensi *S. aureus* dan MRSA di Indonesia dibandingkan dengan beberapa negara lain.

2.3. Karakteristik *Staphylococcus aureus*

Staphylococcus aureus merupakan bakteri Gram positif berbentuk bulat, bergerombol seperti susunan buah anggur koloni berwarna abu-abu hingga kuning tua, koagulase positif, berdiameter 0,8-1,2 μm , mudah tumbuh pada media pertumbuhan dalam keadaan aerob, tidak berspora, dan tidak bergerak. Bakteri ini tumbuh pada suhu optimum 37°C dengan waktu pembelahan 0,47 jam, tetapi membentuk pigmen paling baik pada suhu kamar (20-25°C). *Staphylococcus* lebih sering ditemukan pada permukaan telur kemungkinan karena memiliki kemampuan beradaptasi untuk bertahan hidup dan berkembang di lingkungan kering sehingga mudah ditemukan di alam bebas seperti debu, feses dan tanah di kandang (Gnanamani et al., 2017; Pyzik & Marek, 2012). Klasifikasi *Staphylococcus aureus* (Madhaiyan et al., 2020) adalah sebagai berikut:

Kingdom	: Bacteria
Phylum	: Firmicutes
Class	: Bacili

Ordo : Coccaeae
 Family : Staphylococcaceae
 Genus : *Staphylococcus*
 Species : *Staphylococcus aureus*



Gambar 2 *Staphylococcus aureus* pada telur ayam konsumsi yang ditemukan di Sulawesi Selatan Indonesia pembesaran 100 kali

Struktur antigen yang diproduksi oleh *S. aureus* diantaranya ialah asam teikoat yang merupakan polimer gliserol atau ribitol fosfat, berikatan dengan peptidoglikan dan bersifat antigenik. Antibodi antiteikoat, yang dapat dideteksi dengan difusi gel dapat ditemukan pada penderita endokritis aktif yang disebabkan *S. aureus*. Struktur antigen yang lain yaitu protein A yang terikat pada bagian FC molekul IgG, kecuali IgG3. Bagian Fab pada IgG yang terikat pada protein A bebas untuk berikatan dengan antigen spesifik. Protein A merupakan reagen penting dalam imunologi dan teknologi diagnostik laboratorium (Sato et al., 2019). *Staphylococcus aureus* memiliki faktor virulensi sebagai berikut (Gnanamani et al., 2017; Sadowska et al., 2002; Tirpude & Batra, 2012):

- a. Katalase; merupakan enzim yang dapat memecah H_2O_2 menjadi H_2O dan O_2 . Hasil positif jika ada gelembung-gelembung gas setelah ditetesi H_2O_2 3%. Tes adanya aktivitas katalase menjadi pembeda genus *Staphylococcus aureus* dari *Streptococcus*.
- b. Koagulase; merupakan protein yang menyerupai enzim ini dapat mengumpalkan plasma oksalat atau plasma sitrat, karena adanya faktor koagulase reaktif dalam serum yang bereaksi dengan enzim tersebut. Esterase yang dihasilkan dapat meningkatkan aktivitas penggumpalan, sehingga terbentuk deposit fibrin pada permukaan sel bakteri yang dapat menghambat fagositosis.
- c. Hemolisin; merupakan toksin yang dapat membentuk suatu zona hemolisis disekitar koloni bakteri. Hemolisin pada *S. aureus* terdiri dari α -hemolisin, β - hemolisin, dan delta hemolisin.
- d. Leukosidin; merupakan toksin yang dapat mematikan sel darah putih pada beberapa hewan. Tetapi paranya dalam patogenesis pada manusia tidak jelas,

- karena *Staphylococcus* tidak dapat mematikan sel-sel darah putih manusia dan dapat difagositosis.
- e. Enterotoksin; merupakan enzim yang tahan terhadap suasana basa di dalam usus. Enzim ini merupakan penyebab utama dalam keracunan makanan, terutama pada makanan yang mengandung karbohidrat dan protein.
 - f. Eksotoksin; merupakan toksin yang menyebabkan demam, syok, ruam kulit, dan gangguan multisistem organ dalam tubuh.

2.4. Cemaran *Staphylococcus aureus* pada Telur dan Produk Olahannya di Indonesia

Kontaminasi *S. aureus* pada telur dan produk olahan telur dalam kurun waktu 5 tahun jarang dilaporkan di Indonesia. Berdasarkan data yang terkumpul, hanya bakteri yang dapat ditemukan pada produk segar yang diperoleh dari tempat penjualan dan pengolahan telur, seperti telur asin bebek dan telur dadar, yang beredar di Sumatera dan Jawa (Tabel 2). Telur yang diuji hanya diperoleh dari pedagang, yang memberikan informasi langsung dari telur unggas. Pemerintah Indonesia mengatur dan membatasi kontaminasi *S. aureus* pada telur, dan produk yang aman dikonsumsi adalah telur asin $<1 \times 10^1$ koloni/g makanan olahan berbahan dasar telur (Badan Standarisasi Nasional [BSN], 2009) dan telur unggas segar $<1 \times 10^2$ koloni/g (SNI, 2000).

Tabel 2 Laporan Cemaran *S. aureus* pada Telur dan Produk Olahannya di Indonesia

Tahun	Prevalensi	Jenis Sampel	Lokasi	Peneliti
2018	75% sampel telur ayam konsumsi yang dijual pada swalayan mengandung <i>S. aureus</i> $>1 \times 10^2$ CFU/ml pada kerabang dan isi	Telur ayam konsumsi	Banda Aceh	(Rikamalia & Rastina., 2018)
2018	3 sampel telur asin dari 1 Industri rumah tangga positif <i>S. aureus</i>	Telur itik asin	Purbalingga Jawa Tengah	(Rochmah, 2018)
2018	100% sampel telur asin mentah berasal dari pedagang di pasar tradisional mengandung <i>S. aureus</i> $> 1 \times 10^1$ CFU/ml pada abu gosok, kerabang dan isi	Telur itik asin	Aceh Besar, Aceh	(Fitria et al., 2018)
2020	Telur dadar iris mengandung <i>S. aureus</i> sebanyak 983 koloni/g	Telur dadar iris	Bandung, Jawa Barat	(Vitasari, 2020)

Kontaminasi *S. aureus* juga ditemukan pada telur segar dan produk olahan yang selama 10 tahun. Data pada Tabel 2 menunjukkan bahwa bakteri tersebut ditemukan di

peternakan, pasar tradisional, supermarket, dan toko yang menjual bahan makanan. Jumlah *S. aureus* yang ditemukan pada kulit telur umumnya lebih tinggi dibandingkan pada putih telur dan kuning telur. *Staphylococcus* lebih sering ditemukan pada permukaan telur karena kemampuannya beradaptasi untuk bertahan, hidup, dan berkembang biak di lingkungan sehingga dengan mudah ditemukan di alam bebas tanpa debu, feses, dan tanah di dalam kandang (Pyzik & Marek, 2012). Kontaminasi terjadi sebelum tiba pada konsumen di beberapa lokasi rantai distribusi telur (peternakan ayam, pedagang besar, pengecer, dan industri pengolahan makanan). Di peternakan, orang-orang (khususnya, pekerja), rak telur yang digunakan kembali dan tidak didesinfeksi, pupuk kandang, dan ayam dapat menjadi sumber kontaminasi. *Staphylococcus* adalah bakteri yang paling umum yang mengontaminasi kulit telur selama proses pembentukan dan bertelur (De Reu, 2006; De Reu et al., 2008).

Tabel 3 Laporan Cemaran *S. aureus* pada Telur dan Produk Olahannya di Beberapa Negara

Tahun	Prevalensi	Jenis Sampel	Lokasi	Peneliti
2012	61% sampel salad yang dijual terkontaminasi <i>S. aureus</i>	Salad	Hyderabad, India	(Sudershan et al., 2012)
2015	18,40% pada cangkang telur ayam konsumsi berasal dari pasar dan 28,40% dari peternakan ayam petelur terkontaminasi <i>Staphylococcus</i> spp.	Telur ayam konsumsi	Pathum Thani, Thailand	(Chaemsanit et al., 2015)
2018	21,3% telur ayam konsumsi yang berasal dari toko eceran terkontaminasi <i>S. aureus</i>	Telur ayam konsumsi	Haripur, Pakistan	(Syed et al., 2018)
2018	<i>S. aureus</i> mengkontaminasi telur ayam konsumsi yang diperoleh dari telur kemasan di pasar, kelompok, telur ayam kampung, telur dari peternakan tepat setelah dibersihkan dan telur dari peternakan sebelum dibersihkan	Telur ayam konsumsi	Irbid, Jordan	(Momani et al., 2017)
2018	24.29% telur ayam konsumsi berasal dari pedagang pengecer terkontaminasi <i>Staphylococcus</i> spp.	Telur ayam konsumsi	Dhaka, Bangladesh	(Islam et al., 2018a)
2019	7,61% telur ayam konsumsi berasal dari 9 peternakan terkontaminasi <i>S. aureus</i>	Telur ayam konsumsi	Lublin, Polandia	(Pyzik et al., 2014)

Tahun	Prevalensi	Jenis Sampel	Lokasi	Peneliti
2019	25,86% dari kerabang dan isi telur ayam konsumsi dari peternakan dan pedagang terkontaminasi <i>S. aureus</i>	Telur ayam konsumsi	Enugu, Nigeria	(Anosa et al., 2019)
2020	13,3% telur ayam konsumsi berasal dari peternakan, pasar, supermarket dan toko bahan makanan terkontaminasi <i>S. aureus</i>	Telur ayam konsumsi	Beni Suef, Mesir	(EL-Kholy et al., 2020)
2020	27,8% dari kerabang dan isi telur ayam konsumsi dari peternakan dan pasar terkontaminasi <i>S. aureus</i>	Telur ayam konsumsi	Eastern Ethiopia, Ethiopia	(Kemal et al., 2020)
2020	18% dari kerabang dan 14% dari isi telur ayam konsumsi dari pedagang terkontaminasi <i>S. aureus</i>	Telur ayam konsumsi	Baghdad, Iraq	(AAItaai et al., 2020)
2022	1% pada kerabang telur yang berasal dari pasar modern, 6% pada isi telur yang berasal dari pasar modern, dan 1% pada isi telur yang berasal dari pasar tradisional dengan total sampel 1.770 butir terkontaminasi <i>S. aureus</i>	Telur ayam konsumsi	Rabat, Maroko	(El Ftouhy et al., 2022)
2022	7% telur ayam konsumsi berasal dari toko bahan makanan terkontaminasi <i>S. aureus</i>	Telur ayam konsumsi	Benghazi, Libya	(Mansour et al., 2022)
2022	90% pada kerabang dan 75% isi telur ayam konsumsi yang berasal dari a Poultry Farm and Small-Scale Vendors terkontaminasi <i>S. aureus</i>	Telur ayam konsumsi	Southern Ethiopia, Ethiopia	(Damena et al., 2022)
2022	19% pada kerabang telur ayam konsumsi yang berasal dari laying hen farm	Telur ayam konsumsi	Algiers, Aljazair	(Mebkhout et al., 2022)
2023	30.41% pada commercially available foods (egg products, sweets, and sauces) from diverse sale outlets	Egg products	Algiers, Aljazair	(Chouaib et al., 2023)

Ada beberapa kemungkinan sumber kontaminasi *S. aureus* pada telur, secara horizontal ketika melewati kloaka. Hal ini diperkuat oleh penelitian (Hermana et al., 2021) yang menemukan *S. aureus* pada 28% sampel usap kloaka ayam pedaging dan 50% ayam petelur di Kabupaten Bogor, Indonesia. Cangkang telur yang terkontaminasi banyak mikroorganisme akan meningkatkan risiko masuknya mikroba ke dalam telur. Kontaminasi secara vertikal (transovarium) pada telur terjadi ketika putih telur dan selaput telur terkontaminasi secara langsung oleh infeksi bakteri pada organ reproduksi (Stępień-Pyśniak et al., 2009). *E. coli* O157:H7 memfasilitasi penetrasi *S. aureus* ke dalam telur ayam konsumen ketika kedua bakteri tersebut mengontaminasi kulit telur (Al-Natour et al., 2012). Beberapa sumber kontaminasi telur yang diduga meliputi sampah, rak telur, feses, peralatan pengemasan dan penyimpanan telur, pakaian dan tangan pekerja kandang, debu, dan lingkungan (Mebkhout et al., 2022). Jika bersentuhan dengan permukaan yang kotor seperti feses, bakteri dapat mengontaminasi cangkang dalam waktu singkat dan menembus ke dalam telur. Orang dan rak telur dapat menjadi sumber kontaminasi di pedagang grosir dan pengecer. Penanganan produk makanan oleh manusia dan infeksi pada ternak dan pekerja telah dijelaskan sebagai mekanisme penting kontaminasi telur dengan *S. aureus* (Anosa et al., 2019).

2.5. *Staphylococcus aureus* dan *Methicillin-Resistant Staphylococcus aureus* (MRSA)

Kontaminasi telur dengan mikroba dan dampaknya terhadap kesehatan manusia telah menjadi masalah penting di seluruh dunia. Beberapa mikroba, termasuk *Salmonella* spp., *Staphylococcus* spp., *Streptococcus* spp., *Pseudomonas* spp., *Campylobacter jejuni*, *Listeria monocytogenes*, dan *E. coli*, sering mengontaminasi telur dan proses produksi (Behnamifar et al., 2020; Thaha et al., 2020). Di antara mikroba, *S. aureus* menghasilkan racun yang menyebabkan keracunan makanan pada manusia yang terkontaminasi oleh bakteri. Enterotoksin menstimulasi sistem pencernaan pada manusia dan memicu gejala keracunan seperti mual, muntah, diare, nyeri, perut, dan demam selama periode 1–6 jam (Anosa et al., 2019). *S. aureus* juga resistan terhadap beberapa antibiotik, termasuk tetrasiklin, amoksisilin, ampisilin, siprofloksasin, seftriakson, beta-laktam, dan azitromisin (Anosa et al., 2019; Islam et al., 2018b). Inilah yang menjadi tantangan bagi *S. aureus* di dunia unggas saat ini.

Perkembangan multiresisten antibiotik membuat pengobatan penyakit pada unggas menjadi sulit. Antibiotik telah digunakan selama lebih dari setengah abad dalam pakan unggas untuk meningkatkan kinerja, mengurangi jumlah mikroorganisme patogen, dan meningkatkan jumlah mikroorganisme yang berguna dalam saluran usus unggas (Gibson & Fuller, 2000). Namun, antibiotik sebagai pemacu pertumbuhan dalam pakan ternak telah dilarang dalam pakan yang dikonsumsi ternak (Anton et al., 2020a; Nhung et al., 2017). Pemerintah Indonesia telah menerbitkan Peraturan Menteri Pertanian Republik Indonesia Nomor 14 Tahun 2017, yang menegaskan pelarangan antibiotik sebagai pemacu pertumbuhan dalam pakan. Sebanyak 27% telur ayam yang berasal dari pasar tradisional dan supermarket di Jakarta Timur Indonesia, mengandung residu antibiotik kanamisin, suatu aminoglikosida (Anton et al., 2020a). Hasil serupa juga ditemukan di Provinsi Bali, Nusa Tenggara Barat, dan Nusa Tenggara Timur, di mana

penisilin, tetrasiklin, aminoglikosida, dan makrolida ditemukan pada 0,3%–9,15% sampel telur ayam, bebek, dan puyuh yang diperoleh dari pasar tradisional dan supermarket (Dewi et al., 2014). Hasil penelitian (BPS Indonesia, 2023; Haddad et al., 2018) menunjukkan bahwa 86,8% konsumsi telur ayam ras positif terkontaminasi *S. aureus* positif mengandung *mecA* yang merupakan gen penyandi MRSA. Selain itu, terdapat kesamaan genetika MRSA yang ada pada konsumsi telur ayam ras dengan infeksi pada manusia.

MRSA merupakan isolat *S. aureus* yang telah memperoleh gen penyandi resistensi antibiotik terhadap semua penisilin, termasuk metisilin. Resistensi terhadap antibiotik merupakan salah satu ciri bakteri yang membuatnya resisten secara alami. Resistensi ini dapat diperoleh melalui mutasi pada DNA-nya sendiri atau akuisisi DNA yang memberikan resistensi dari sumber lain (Haddad et al., 2018). Berdasarkan hasil penelitian (Hermana et al., 2021), sebagian besar isolat *S. aureus* yang diperoleh dari usapan kloaka ayam pedaging (gen resistensi: *ermB*) dan ayam petelur (gen resistensi: *blaTEM*, *gyrA*, dan *tetA*) yang berasal dari Bogor resisten terhadap tetrasiklin, ampisilin, oksitetrasiklin, eritromisin, dan asam nalidiksat.