

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Infertilitas adalah suatu kelainan pada sistem reproduksi yang dapat terjadi baik pada pria maupun wanita. Secara klinis, kondisi ini didefinisikan sebagai kegagalan suatu pasangan untuk memperoleh kehamilan meskipun telah melakukan hubungan seksual secara rutin tanpa menggunakan alat kontrasepsi selama kurun waktu satu tahun. Peningkatan angka infertilitas telah menjadi masalah kesehatan global dalam beberapa tahun terakhir. Angka infertilitas di Indonesia mencapai sekitar 10–15% atau sekitar 4–6 juta pasangan dari total 39,8 juta pasangan usia subur yang memerlukan pengobatan infertilitas untuk memperoleh keturunan. Berdasarkan faktor penyebabnya, perempuan berkontribusi sebesar 40–50% terhadap kasus infertilitas, laki-laki sebesar 30%, sedangkan penyebab lainnya mencapai sekitar 20–30% (Kusuma, 2025). Pada infertilitas pria, kualitas semen merupakan salah satu indikator penting dalam menilai fungsi reproduksi. Penurunan kualitas semen ditandai oleh berkurangnya konsentrasi, motilitas, dan morfologi normal spermatozoa sehingga menurunkan kemampuan sperma untuk membuahi sel telur. Meskipun demikian, lebih dari 60% kasus infertilitas pria masih belum diketahui penyebab pastinya (Imran dkk., 2025).

Penyebab yang mendasari infertilitas pria dibagi menjadi tiga, yaitu faktor pre-testikular, testikular, dan post-testikular. Faktor pre-testikular adalah faktor yang berasal dari organ pengatur reproduksi di luar testis, seperti hipotalamus dan hipofisis, yang dapat memengaruhi produksi hormon reproduksi sehingga proses spermatogenesis di dalam testis menjadi terganggu. Faktor testikular bersumber dari testis itu sendiri, meliputi kondisi seperti kelainan kromosom, varikokel, paparan gonadotoksin, trauma, torsi, serta peradangan. Sementara itu, faktor post-testikular merupakan gangguan yang terjadi pada saluran reproduksi, mencakup epididimis, vas deferens, dan duktus ejakulatorius. Kelainan ini dapat berupa *congenital absence of the vas deferens* (kelainan bawaan berupa tidak terbentuknya vas deferens) maupun gangguan ejakulasi yang menghambat transportasi spermatozoa (Gaziansyah, 2024).

Selain faktor-faktor tersebut, infertilitas pria juga dapat dipengaruhi oleh kualitas spermatozoa yang rendah. Menurut Kaltsas (2023), pria dapat mengalami infertilitas akibat berbagai faktor, salah satunya disebabkan oleh rendahnya kualitas spermatozoa. Penurunan kualitas spermatozoa tersebut dapat dipicu oleh peningkatan kadar *Reactive Oxygen Species* (ROS) yang menyebabkan kerusakan DNA spermatozoa serta memicu apoptosis sel sperma. *Reactive Oxygen Species* (ROS) merupakan molekul reaktif yang dihasilkan sebagai produk samping metabolisme aerobik, terutama di mitokondria.

Penumpukan ROS secara berlebihan memicu terjadinya stres oksidatif, yang selanjutnya menyebabkan oksidasi pada basa DNA dan terputusnya untai DNA, sehingga mengganggu jalannya proses replikasi maupun transkripsi. Kerusakan DNA yang tidak dapat diperbaiki (*irreversibel*) ini kemudian memicu aktivasi jalur apoptosis melalui pelepasan sitokrom c dari mitokondria serta aktivasi kaspase, yang pada akhirnya menyebabkan kematian sel (Zhao dkk., 2023). Di samping itu, gangguan pada produksi hormon FSH (*Follicle Stimulating Hormone*) dan LH (*Luteinizing Hormone*) yang dihasilkan oleh otak dan kelenjar hipofisis, serta kelainan pada organ reproduksi maupun epididimis, turut berperan dalam memengaruhi tingkat kesuburan pada pria.

Proses pembentukan serta pemeliharaan kualitas spermatozoa sangat bergantung pada kecukupan asupan zat gizi dalam tubuh. Besarnya kebutuhan zat gizi ini dipengaruhi oleh sejumlah faktor, seperti usia reproduksi, tingkat aktivitas, dan status gizi individu. Asupan zat gizi diperlukan untuk mendukung pertumbuhan serta fungsi organ reproduksi secara optimal, khususnya selama masa pertumbuhan dan perkembangan berlangsung. Memasuki masa pubertas, tubuh mulai memproduksi hormon seks yang memungkinkan organ reproduksi mulai berfungsi dan mengalami berbagai perubahan (Rahmawati dkk., 2025).

Selain berperan penting dalam mendukung fungsi reproduksi, nutrisi juga merupakan salah satu faktor krusial yang memengaruhi berlangsungnya proses spermatogenesis serta kualitas spermatozoa yang dihasilkan. Sejumlah nutrisi diketahui turut berkontribusi dalam proses tersebut, mulai dari makronutrien seperti protein, lemak, dan karbohidrat, hingga mikronutrien seperti vitamin dan mineral. Di antara mikronutrien tersebut, beberapa vitamin dan mineral yang berfungsi

sebagai antioksidan seperti vitamin C, vitamin B2, vitamin B6, selenium, dan zinc diketahui mampu menangkal maupun menurunkan kadar radikal bebas atau *Reactive Oxygen Species* (ROS), sehingga berperan dalam melindungi spermatozoa dari kerusakan akibat stres oksidatif (Dewangga dkk., 2021). Selain itu, protein sebagai sumber asam amino juga berperan penting dalam mendukung kualitas spermatozoa. Glutamat, karnitin, dan isoleusin dilaporkan berhubungan dengan kualitas sperma, sedangkan leusin, hipotaurin, karnitin, dan isoleusin berhubungan dengan kemampuan spermatozoa dalam mentoleransi penyimpanan cair. Temuan tersebut menunjukkan bahwa asam amino dan amina berperan penting dalam menjaga kesehatan semen dan mendukung kualitas spermatozoa (Shrestha dkk., 2025). Oleh karena itu, salah satu sumber protein yang berpotensi dimanfaatkan untuk mendukung spermatogenesis adalah protein sel tunggal (PST) karena memiliki kandungan protein dan berbagai asam amino.

Penelitian oleh Amirjannati dkk. (2023) menunjukkan bahwa beberapa asam amino untuk meningkatkan kualitas spermatozoa, seperti metionin, glutamin, sistein, dan asparagin, memiliki korelasi positif dengan motilitas dan morfologi normal spermatozoa. Selain itu, triptofan, fenilalanin, dan alanin juga berkorelasi positif dengan konsentrasi spermatozoa. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kecukupan asam amino berkontribusi terhadap fungsi reproduksi pria melalui peningkatan kualitas spermatozoa dan kapasitas antioksidan semen.

Sejalan dengan hal tersebut, Akhigbe dkk. (2023) melaporkan bahwa suplementasi L-arginine dapat meningkatkan produksi spermatid total dari 60,70 menjadi 75,20 spermatid/testis, produksi spermatid harian dari 8,10 menjadi 10,30 spermatid/testis/hari, jumlah spermatozoa dari $7,57 \times 10^6/\text{mL}$ menjadi $8,69 \times 10^6/\text{mL}$, serta motilitas spermatozoa dari 65,70% menjadi 77,60%. Selain itu, suplementasi L-arginine juga menurunkan persentase morfologi spermatozoa abnormal dari 22,70% menjadi 13,20% dibandingkan kelompok yang hanya diberi kodein. Temuan-temuan tersebut menunjukkan bahwa protein dan asam amino memiliki peran penting dalam mendukung proses spermatogenesis serta meningkatkan kualitas spermatozoa, sehingga berpotensi dimanfaatkan sebagai suplemen untuk menunjang kesehatan reproduksi pria.

Protein hewani adalah sumber protein lengkap karena mengandung seluruh

asam amino esensial dengan tingkat bioavailabilitas yang tinggi, namun konsumsinya secara berlebihan dapat meningkatkan risiko terjadinya penyakit kronis. Sebaliknya, protein nabati lebih kaya serat, antioksidan, dan fitokimia serta lebih ramah lingkungan, namun umumnya memiliki kandungan asam amino esensial yang tidak lengkap dan tingkat pencernaan yang lebih rendah sehingga sering memerlukan kombinasi beberapa sumber pangan untuk memenuhi kebutuhan asam amino esensial (Hasbani dkk., 2026). Berbeda dengan protein hewani yang memiliki bioavailabilitas tinggi dan protein nabati yang kaya akan serat serta senyawa bioaktif, Protein sel tunggal (PST) merupakan salah satu sumber protein alternatif yang diperoleh dari biomassa mikroorganisme, seperti bakteri, khamir, kapang, dan alga. PST memiliki kandungan protein yang tinggi, berkisar antara 40–80%, serta mengandung berbagai asam amino esensial, seperti lisin, triptofan, treonin, metionin, dan sistein, dengan komposisi yang memenuhi atau mendekati rekomendasi FAO (*Food and agriculture organization*). Selain itu, PST dapat diproduksi menggunakan berbagai substrat, termasuk limbah pertanian, limbah industri, metana, metanol, dan karbon dioksida, sehingga berpotensi menjadi sumber protein yang lebih berkelanjutan sebagai bahan pakan maupun suplemen nutrisi (Gundupalli dkk., 2024).

Pemilihan mencit jantan galur Swiss Webster sebagai hewan uji dalam penelitian ini didasarkan pada statusnya sebagai salah satu galur *outbred* yang lazim digunakan pada penelitian-penelitian di bidang biomedis dan reproduksi. Mencit *outbred* memiliki keragaman genetik yang lebih tinggi sehingga dapat menggambarkan variasi biologis yang terdapat pada populasi. Dibandingkan dengan mencit *inbred*, mencit *outbred* memiliki masa hidup yang lebih panjang, ketahanan terhadap penyakit yang lebih baik, kemampuan reproduksi yang lebih tinggi, serta angka kematian neonatal yang lebih rendah. Oleh karena itu, mencit galur Swiss Webster sering digunakan untuk menguji efek bahan kimia, obat, maupun suplemen, karena respons yang dihasilkan lebih mendekati kondisi nyata pada populasi (Schmidt, 2015).

Al-Qur'an turut menekankan urgensi pemenuhan nutrisi bagi kesehatan tubuh, sebagaimana tercermin dalam konsep *halalan thayyiban* pada QS. Al-Baqarah ayat 168. Melalui ayat ini, manusia diperintahkan untuk senantiasa

mengonsumsi makanan yang tidak hanya halal, tetapi juga *thayyib* atau baik yakni makanan yang terjamin keamanannya, kaya gizi, dan mendatangkan manfaat nyata bagi tubuh. Dengan demikian, konsep *thayyib* mengajarkan bahwa penilaian terhadap kualitas suatu makanan tidak cukup hanya berhenti pada aspek kehalalannya semata, melainkan juga harus mempertimbangkan kandungan gizinya agar mampu menunjang kesehatan tubuh secara menyeluruh dan optimal. Dengan demikian, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pemanfaatan sumber nutrisi yang berkualitas dapat memberikan manfaat bagi kesehatan reproduksi, sebagaimana sejalan dengan nilai-nilai yang terkandung dalam konsep *thayyib* dalam QS. Al-Baqarah ayat 168:

يَا أَيُّهَا النَّاسُ كُلُوا مِمَّا فِي الْأَرْضِ حَلَالًا طَيِّبًا وَلَا تَتَّبِعُوا خُطُوَاتِ الشَّيْطَانِ إِنَّهُ لَكُمْ عَدُوٌّ مُبِينٌ

Artinya : “Wahai manusia! Makanlah dari (makanan) yang halal dan baik yang terdapat di bumi, dan janganlah kamu mengikuti langkah-langkah setan. Sungguh, setan itu musuh yang nyata bagimu.”

Dengan demikian, penelitian ini penting dilakukan untuk mengevaluasi potensi PST *Bacillus* sp. sebagai sumber protein alternatif yang dapat meningkatkan kualitas spermatozoa. Diketahui bahwa PST mengandung protein serta asam amino yang berpotensi berperan dalam mendukung berlangsungnya proses spermatogenesis. Dalam produksinya, PST dapat memanfaatkan limbah cair tahu sebagai media fermentasi, mengingat limbah tersebut masih mengandung nutrisi yang mampu menunjang pertumbuhan bakteri *Bacillus* sp. Namun, penelitian mengenai potensi PST *Bacillus* sp. dalam meningkatkan kualitas spermatozoa masih sangat terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai pemanfaatan PST *Bacillus* sp. sebagai suplemen yang mendukung kesehatan reproduksi pria.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh pemberian protein sel tunggal *Bacillus* sp. terhadap kualitas spermatozoa (berat testis, motilitas, viabilitas, morfologi dan konsentrasi) mencit jantan Swiss Webster?

2. Berapa konsentrasi protein sel tunggal *Bacillus* sp. yang memberikan respon terbaik terhadap kualitas spermatozoa?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini yaitu :

1. Mengetahui pengaruh pemberian protein sel tunggal *Bacillus* sp. terhadap kualitas spermatozoa (berat testis, motilitas, viabilitas, morfologi dan konsentrasi) mencit jantan Swiss Webster.
2. Menentukan konsentrasi Protein Sel Tunggal *Bacillus* sp. yang memberikan respon terbaik terhadap kualitas spermatozoa mencit jantan Swiss Webster.

1.4 Hipotesis Penelitian

Hipotesis penelitian ini yaitu :

1. Pemberian protein sel tunggal *Bacillus* sp. dapat meningkatkan kualitas spermatozoa (berat testis, motilitas, viabilitas, morfologi dan konsentrasi sperma) mencit jantan Swiss Webster.
2. Pemberian protein sel tunggal *Bacillus* sp. pada berbagai konsentrasi diduga berpengaruh terhadap kualitas spermatozoa mencit jantan Swiss Webster.

1.5 Manfaat Penelitian

1.5.1 Manfaat Teoritis

Penelitian ini diharapkan mampu berkontribusi bagi kemajuan ilmu pengetahuan di bidang biologi reproduksi, terutama yang berkaitan dengan pengaruh pemberian Protein Sel Tunggal *Bacillus* sp. sebagai suplemen terhadap kualitas spermatozoa mencit jantan. Temuan dari penelitian ini diharapkan dapat memperkaya informasi ilmiah terkait hubungan antara suplementasi Protein Sel Tunggal *Bacillus* sp. dengan motilitas, viabilitas, morfologi, dan konsentrasi spermatozoa. Di samping itu, penelitian ini juga diharapkan dapat dijadikan acuan bagi penelitian-penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan pemanfaatan suplemen dalam mendukung fungsi reproduksi jantan.

1.5.2 Manfaat Praktis

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi ilmiah mengenai pengaruh pemberian Protein Sel Tunggal *Bacillus* sp. sebagai suplemen terhadap kualitas spermatozoa mencit jantan. Hasil penelitian ini dapat menjadi referensi bagi peneliti dalam pengembangan penelitian di bidang reproduksi, khususnya

terkait pemanfaatan suplemen untuk meningkatkan kualitas spermatozoa. Selain itu, penelitian ini dapat menjadi dasar ilmiah dalam pengembangan Protein Sel Tunggal *Bacillus* sp. sebagai suplemen yang berpotensi mendukung proses spermatogenesis dan menjaga fungsi reproduksi jantan.

