

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Gangguan kecemasan saat ini merupakan salah satu masalah kesehatan mental dengan prevalensi tertinggi, sekitar 301 juta orang atau 4% populasi dunia mengalami gangguan kecemasan (Javaid dkk., 2023). Gangguan kecemasan ditandai oleh rasa khawatir berlebihan, ketakutan yang terus-menerus, perasaan gelisah, kesulitan berkonsentrasi, serta berbagai gejala fisik seperti peningkatan denyut jantung, gangguan tidur, dan kelelahan (Berutu & Mutiawati, 2023). Pada kelompok remaja dan dewasa muda, prevalensi gangguan kecemasan terus meningkat akibat berbagai faktor, seperti tekanan akademik, tuntutan sosial, perubahan gaya hidup, serta paparan stres berkepanjangan (Salsa dkk., 2025). Apabila tidak ditangani secara tepat, gangguan kecemasan dapat menurunkan kualitas hidup, mengganggu produktivitas, memperburuk hubungan sosial, dan meningkatkan risiko terjadinya gangguan mental lain seperti depresi (Julisafrida dkk., 2024).

Permasalahan lingkungan akibat limbah agroindustri masih menjadi tantangan yang dihadapi Indonesia seiring dengan meningkatnya aktivitas produksi pangan (Listiana dkk., 2024). Salah satu sektor yang berkembang pesat adalah industri tahu yang berperan penting dalam memenuhi kebutuhan protein masyarakat karena harganya relatif terjangkau dan mudah diperoleh. Namun, proses produksi tahu menghasilkan limbah cair dalam jumlah besar yang sering kali belum dikelola secara optimal. Limbah cair tahu mengandung bahan organik, protein, karbohidrat, lemak, serta senyawa nitrogen dalam konsentrasi tinggi (Marian & Tuhuteru, 2019). Apabila dibuang langsung ke lingkungan tanpa pengolahan yang memadai, limbah tersebut dapat meningkatkan nilai *Biological Oxygen Demand* (BOD) dan *Chemical Oxygen Demand* (COD), menurunkan kadar oksigen terlarut di perairan, menimbulkan bau tidak sedap, serta mengganggu keseimbangan ekosistem. Kondisi ini menunjukkan bahwa limbah tahu tidak hanya

menjadi persoalan lingkungan, tetapi juga mencerminkan belum optimalnya pemanfaatan sumber daya yang masih memiliki nilai ekonomi dan biologis tinggi (Amalia dkk., 2023; Beautyla & Qoilun, 2026).

Penanganan gangguan kecemasan umumnya dilakukan melalui terapi psikologis dan terapi farmakologis. Meskipun efektif, penggunaan obat-obatan antikecemasan dalam jangka panjang sering dikaitkan dengan berbagai efek samping, seperti ketergantungan, gangguan kognitif, gangguan tidur, hingga perubahan suasana hati (Niarchou dkk., 2024). Selain itu, akses terhadap layanan kesehatan mental masih belum merata, terutama di daerah dengan keterbatasan fasilitas kesehatan. Kondisi tersebut mendorong perlunya pengembangan alternatif terapi yang lebih aman, ekonomis, mudah diperoleh, dan berkelanjutan. Dalam konteks ini, pemanfaatan PST berbasis limbah tahu menjadi menarik karena menawarkan pendekatan yang mampu menyelesaikan dua permasalahan sekaligus, yaitu pengelolaan limbah lingkungan dan penyediaan produk kesehatan fungsional.

Di sisi lain, kandungan nutrisi yang terdapat pada limbah tahu berpotensi dimanfaatkan kembali melalui pendekatan bioteknologi, salah satunya melalui proses fermentasi menggunakan mikroorganisme untuk menghasilkan Protein Sel Tunggal (Yayuk dkk., 2025). PST merupakan biomassa mikroorganisme yang memiliki kandungan protein tinggi, kaya asam amino esensial, vitamin, enzim, serta berbagai senyawa bioaktif sehingga berpotensi dikembangkan sebagai sumber protein alternatif sekaligus bahan baku suplemen fungsional (Chamodi dkk., 2025). Salah satu mikroorganisme yang berpotensi menghasilkan PST berkualitas adalah *Bacillus* sp. karena memiliki laju pertumbuhan yang cepat, kemampuan memanfaatkan berbagai substrat organik, serta menghasilkan biomassa dengan nilai gizi tinggi dan metabolit yang bermanfaat bagi kesehatan (Naimi Nasution & Effendi, 2021).

Dibandingkan sumber protein konvensional, produksi PST dari *Bacillus* sp. lebih efisien, membutuhkan waktu produksi yang lebih singkat, tidak memerlukan lahan yang luas, dan dapat memanfaatkan limbah agroindustri sebagai media fermentasi. Oleh karena itu, pemanfaatan limbah cair tahu sebagai substrat produksi PST *Bacillus* sp. menjadi solusi yang menjanjikan karena mampu mengubah limbah yang berpotensi mencemari lingkungan menjadi produk bernilai tambah

tinggi. Selain mengurangi beban pencemaran, pendekatan ini juga mendukung konsep ekonomi sirkular dan pembangunan berkelanjutan melalui optimalisasi sumber daya yang sebelumnya belum dimanfaatkan secara maksimal (Khaliqah dkk., 2023; Lutfiatul & Mangkoedihardjo, 2016; Zhuang dkk., 2024).

Potensi PST sebagai suplemen antikecemasan didasarkan pada kandungan senyawa bioaktif yang mampu memengaruhi jalur neuroimun dalam tubuh. Hubungan antara sistem saraf dan sistem imun diketahui berperan penting dalam pengaturan respons stres dan kecemasan. Ketika tubuh mengalami kecemasan, aktivasi HPA (*Hypothalamic Pituitary Adrenal Axis*) akan meningkatkan produksi hormon stres yang dapat mengganggu keseimbangan fisiologis tubuh (Herman dkk., 2016). Kondisi tersebut berpotensi memengaruhi fungsi otak yang terlibat dalam regulasi emosi serta memicu perubahan respons imun. Kandungan β -glukan, polisakarida, dan nukleotida dalam PST dilaporkan mampu meningkatkan fungsi imun, mengurangi peradangan, serta membantu mempertahankan homeostasis fisiologis tubuh (Chamodi dkk., 2025). Dengan demikian, PST berpotensi menjadi suplemen alami yang mendukung ketahanan tubuh terhadap stres dan membantu menurunkan tingkat kecemasan.

Pengaruh gangguan kecemasan terhadap tubuh tidak hanya tercermin melalui perubahan kondisi psikologis dan perilaku, tetapi juga melalui perubahan parameter fisiologis yang dapat diukur secara objektif. Paparan stres yang berkepanjangan dapat memengaruhi proses hematopoiesis, metabolisme oksigen, serta respons sistem imun (Alotiby, 2024). Kondisi tersebut dapat menyebabkan perubahan jumlah eritrosit, kadar hemoglobin, dan jumlah leukosit dalam darah. Eritrosit dan hemoglobin berperan penting dalam transportasi oksigen ke seluruh jaringan tubuh, sedangkan leukosit berfungsi sebagai komponen utama sistem pertahanan tubuh (Spinelli dkk., 2025). Oleh karena itu, profil hematologi sering digunakan sebagai indikator fisiologis untuk mengevaluasi respons tubuh terhadap stres maupun efektivitas suatu intervensi kesehatan (Ismiraj dkk., 2025; Obeagu, 2025). Analisis parameter hematologi diharapkan mampu memberikan gambaran mengenai pengaruh pemberian PST terhadap kondisi fisiologis yang berkaitan dengan kecemasan.

Selain pengukuran parameter hematologi, evaluasi tingkat kecemasan juga perlu dilakukan melalui pengamatan perilaku. Pada penelitian hewan model, perubahan perilaku merupakan indikator utama yang digunakan untuk menilai tingkat kecemasan dan respons terhadap suatu perlakuan (Gencturk & Unal, 2024). Salah satu metode yang paling banyak digunakan adalah *Open Field Test* (OFT) dan *Elevated Plus Maze* (EPM). OFT digunakan untuk mengevaluasi kecenderungan hewan mengeksplorasi area terbuka, khususnya waktu yang dihabiskan pada area tengah (*center time*) (Vuralli dkk., 2019). Hewan yang mengalami tingkat kecemasan rendah umumnya menunjukkan keberanian yang lebih tinggi untuk memasuki dan mengeksplorasi area tengah dibandingkan hewan yang mengalami kecemasan tinggi. Sementara itu, EPM digunakan untuk menilai kecenderungan hewan mengeksplorasi lengan terbuka (*open arm*), di mana peningkatan persentase waktu pada lengan terbuka (*open arm time*) mengindikasikan penurunan tingkat kecemasan (Parrella dkk., 2026).

Namun, metode observasi perilaku secara konvensional masih memiliki berbagai keterbatasan karena bergantung pada pengamatan langsung oleh peneliti. Metode tersebut membutuhkan waktu yang panjang, tenaga yang besar, serta berpotensi menghasilkan bias akibat subjektivitas pengamat (Awaliah, 2026). Kondisi ini dapat memengaruhi akurasi data dan mengurangi reliabilitas hasil penelitian. Perkembangan teknologi digital, khususnya *Internet of Things* (IoT), memberikan peluang untuk meningkatkan kualitas pengamatan perilaku secara lebih objektif dan efisien. Sistem berbasis IoT memungkinkan pemantauan aktivitas hewan secara *real-time* menggunakan sensor dan kamera yang terintegrasi dengan perangkat lunak analisis data (Fuchs dkk., 2025). Teknologi ini dapat dikombinasikan dengan kecerdasan buatan dan *deep learning* untuk mengidentifikasi serta mengklasifikasikan pola perilaku secara otomatis. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa sistem pemantauan berbasis IoT memiliki tingkat akurasi yang tinggi dibandingkan metode observasi manual, sehingga mampu menghasilkan data yang lebih objektif, konsisten, dan terukur (Guo dkk., 2024).

Meskipun berbagai penelitian telah membahas pemanfaatan PST sebagai sumber protein alternatif dan pangan fungsional, penelitian yang secara khusus mengkaji pengaruh PST berbasis limbah tahu terhadap perilaku kecemasan masih

sangat terbatas. Selain itu, integrasi antara evaluasi perilaku menggunakan OFT dan EPM, analisis profil hematologi, serta pemantauan berbasis IoT belum banyak dilakukan dalam satu pendekatan penelitian yang komprehensif. Padahal, kombinasi ketiga parameter tersebut dapat memberikan gambaran yang lebih menyeluruh mengenai efek PST terhadap kondisi psikologis maupun fisiologis.

Berdasarkan uraian tersebut, limbah tahu tidak hanya merupakan sumber pencemaran lingkungan, tetapi juga memiliki potensi besar untuk dikembangkan menjadi produk bernilai tambah berupa Protein Sel Tunggal. Kandungan nutrisi dan senyawa bioaktif dalam PST memberikan peluang untuk dimanfaatkan sebagai suplemen fungsional yang mendukung kesehatan mental, khususnya dalam membantu menurunkan tingkat kecemasan. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh pemberian berbagai dosis PST terhadap perilaku kecemasan mencit jantan (*Mus musculus*) berdasarkan parameter *Open Field Test* (OFT) dan *Elevated Plus Maze* (EPM), serta mengevaluasi perubahan profil hematologi sebagai indikator fisiologis.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah disusun, maka rumusan masalah pada penelitian kali ini yaitu :

1. Bagaimana pengaruh pemberian dosis Protein Sel Tunggal (PST) terhadap perilaku kecemasan mencit jantan (*Mus musculus*) berdasarkan *Open Field Test* (OFT) dan *Elevated Plus Maze* (EPM)?
2. Bagaimana pengaruh pemberian dosis Protein Sel Tunggal (PST) terhadap profil pemeriksaan Hematologi (Eritrosit, Leukosit, dan Hemoglobin) pada mencit jantan?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari dilakukannya penelitian ini adalah :

1. Menganalisis pengaruh Protein Sel Tunggal (PST) terhadap perilaku kecemasan pada mencit jantan berdasarkan hasil uji *Open Field Test* dan Uji *Elevated Plus Maze*.
2. Mengevaluasi pengaruh Protein Sel Tunggal (PST) terhadap pemeriksaan

profil Hematologi (Eritrosit, Leukosit, dan Hemoglobin) pada mencit jantan.

1.4 Hipotesis Penelitian

Hipotesis penelitian yang diajukan adalah:

1. Pemberian Protein Sel Tunggal (PST) secara signifikan meningkatkan waktu di area tengah (*center time*) pada *Open Field Test* dan persentase *open arm time* pada *Elevated Plus Maze*.
2. Pemberian Protein Sel Tunggal (PST) berpengaruh dalam meningkatkan profil Hematologi (Eritrosit, Leukosit, dan Hemoglobin) pada mencit jantan.

1.5 Manfaat Penelitian

1.5.1 Manfaat Teoritis

Penelitian ini diharapkan dapat memperluas pemahaman mengenai pengaruh Protein Sel Tunggal (PST) terhadap perilaku kecemasan pada hewan uji serta mendukung pengembangan ilmu bioteknologi dan biomedis. Hasil penelitian ini juga dapat menjadi dasar bagi pengembangan PST sebagai sumber protein alternatif yang memiliki efek fungsional terhadap kesehatan fisiologis dan neurobehavioral. Selain itu, penerapan teknologi *Computer Vision* dan pengolahan citra digital diharapkan dapat mendukung pengembangan metode pengujian neurobehavioral yang lebih objektif, akurat, dan efisien.

1.5.2 Manfaat Praktis

Penelitian ini memberikan informasi mengenai potensi pemanfaatan limbah tahu sebagai produk bernilai tambah melalui produksi PST. Penelitian ini juga mendorong pemanfaatan bioteknologi sebagai solusi nutrisi dan kesehatan hewan yang berkelanjutan, serta memberikan gambaran tentang pendekatan alternatif dalam mengurangi dampak stres melalui intervensi nutrisi yang mudah diterapkan dan ramah lingkungan.