

KONSEP SISTEM PENCERNAAN MAKANAN PADA MANUSIA SEBAGAI DASAR PEMAHAMAN PROSES BIOLOGIS

Christifani Mega Puan Sidabariba¹, Fauziyah Harahap², Retno Dwi Suyanti³

¹Pendidikan Dasar, Fakultas Ilmu Pendidikan, Universitas Negeri Medan, Jl. William Iskandar Pasar V Medan Estate, Medan Sumatera Utara, 20221, Indonesia

²Pendidikan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Medan, Jl. William Iskandar Pasar V Medan Estate, Medan Sumatera Utara, 20221, Indonesia

³Pendidikan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Medan, Jl. William Iskandar Pasar V Medan Estate, Medan Sumatera Utara, 20221, Indonesia

Email Korespondensi: sidabaribachristifani8@gmail.com

Abstract

The digestive system is a complex series of biological processes that convert food into nutrients that can be absorbed by the body. This study aims to outline the basic concepts of the human digestive system, including the organs involved, the mechanisms of mechanical and chemical digestion, and their relationship to the body's metabolic processes and energy balance. The research method used a qualitative descriptive literature study approach, analyzing various scientific sources published between 2020 and 2025 that discuss the anatomy, physiology, and biochemistry of the human digestive system. The results of the study indicate that the digestive system consists of the main tract (mouth, esophagus, stomach, small intestine, and large intestine) and accessory organs (liver, pancreas, and gallbladder) that work synergistically in the processes of mechanical and chemical digestion. Recent studies highlight the important role of gut microbiota and digestive enzymes in maintaining energy homeostasis and the body's immune system. Research innovations such as the use of organoids and in vitro simulations also strengthen physiological understanding of how digestion affects human metabolism systemically. Thus, digestive system efficiency has been shown to have a direct influence on metabolism and energy balance. A conceptual understanding of this system is fundamental to understanding the biological mechanisms of the human body and is important for strengthening science learning at both elementary and secondary levels.

Keywords:

Enzymes, Body Physiology, Metabolism, Gut Microbiota, Digestive System

Pendahuluan

Tubuh manusia merupakan sistem biologis yang kompleks dan terdiri atas berbagai organ yang bekerja secara terintegrasi untuk mempertahankan kehidupan. Salah satu sistem yang memiliki peran sentral dalam menjaga keberlangsungan hidup manusia adalah sistem pencernaan. Melalui proses ini, tubuh memperoleh zat gizi yang menjadi sumber energi utama bagi aktivitas sel dan organ (Hall, 2021). Proses pencernaan tidak hanya sekadar pengolahan makanan, tetapi juga melibatkan mekanisme biokimia dan neuroendokrin yang kompleks serta terkoordinasi dengan sistem saraf dan metabolisme energi. Oleh karena itu, sistem pencernaan dapat dipahami sebagai fondasi utama dari berbagai proses biologis tubuh manusia yang berkaitan erat dengan metabolisme dan keseimbangan energi.

Pencernaan makanan merupakan proses biologis yang dimulai sejak makanan masuk ke rongga mulut hingga sisa yang tidak dapat diserap dikeluarkan melalui anus. Proses ini melibatkan dua mekanisme utama, yaitu pencernaan mekanik dan pencernaan kimiawi. Pencernaan mekanik

terjadi melalui aktivitas fisik seperti pengunyahan dan gerak peristaltik, sedangkan pencernaan kimiawi melibatkan berbagai enzim pencernaan yang memecah karbohidrat, protein, dan lemak menjadi molekul sederhana yang dapat diserap tubuh (Hall, 2021; Zhang et al., 2023).

Setiap organ dalam sistem pencernaan memiliki fungsi khusus, namun bekerja secara sinergis. Mulut menghancurkan makanan dan mencampurkannya dengan air liur yang mengandung enzim amilase. Makanan kemudian bergerak melalui kerongkongan menuju lambung untuk dicerna dengan bantuan asam klorida (HCl) dan enzim pepsin. Proses pencernaan dilanjutkan di usus halus dengan bantuan cairan empedu dari hati serta enzim pankreas untuk menyelesaikan pemecahan zat gizi hingga siap diserap oleh *vili* usus (*Mechanosensing in the Physiology and Pathology of the Gastrointestinal Tract*, 2023).

Dalam konteks fisiologi modern, sistem pencernaan juga berperan penting dalam menjaga *homeostasis* energi dan sistem imun tubuh melalui pengaturan penyerapan zat gizi serta metabolisme energi. Penelitian terkini menunjukkan bahwa mikrobiota usus memiliki peran vital dalam proses fermentasi serat, produksi asam lemak rantai pendek, serta pengaturan sistem imun dan hormonal (Li & Chen, 2025). Inovasi ilmiah seperti penggunaan *organoid* pencernaan dan simulasi *in vitro* semakin memperkuat pemahaman tentang bagaimana sistem pencernaan memengaruhi metabolisme manusia secara sistemik (*Biomedical Applications of Organoids Derived from the Digestive System*, 2025).

Kajian terdahulu telah banyak membahas anatomi dan fisiologi sistem pencernaan manusia. Namun demikian, masih terdapat kesenjangan dalam memahami keterkaitan integratif antara sistem pencernaan dan proses biologis lain, seperti metabolisme, *homeostasis*, dan regulasi hormonal. Sebagian besar penelitian terdahulu lebih menekankan aspek medis dan biokimiawi, sedangkan pendekatan konseptual yang menempatkan sistem pencernaan sebagai dasar pemahaman proses biologis tubuh manusia masih jarang dikembangkan secara mendalam (Hidayat & Nuraini, 2022).

Kebaruan ilmiah (*novelty*) dari kajian ini terletak pada upaya menjelaskan sistem pencernaan manusia sebagai sistem integratif dan dinamis yang menopang fungsi biologis tubuh secara keseluruhan. Dengan memahami keterkaitan antarorgan pencernaan, aktivitas enzim, mikrobiota, serta hasil akhir metabolisme, dapat dibangun pemahaman menyeluruh mengenai bagaimana tubuh mempertahankan kehidupan melalui mekanisme biologis yang saling bergantung.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menguraikan struktur dan fungsi organ-organ sistem pencernaan manusia, menjelaskan mekanisme pencernaan mekanik dan kimiawi beserta peran enzim yang terlibat, serta menganalisis keterkaitan sistem pencernaan dengan metabolisme, *homeostasis* energi, dan proses biologis lainnya. Selain itu, penelitian ini juga menegaskan pentingnya pemahaman sistem pencernaan dalam pendidikan biologi sebagai dasar pembelajaran fisiologi manusia dan penguatan konsep ilmiah tentang sistem tubuh.

Melalui kajian pustaka ini diharapkan diperoleh pemahaman konseptual yang lebih mendalam mengenai sistem pencernaan manusia sebagai pondasi ilmiah untuk memahami proses biologis tubuh dan memperkuat pembelajaran sains biologi di tingkat dasar maupun menengah, sebagaimana ditekankan dalam penelitian-penelitian mutakhir terbitan 2020–2025.

Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode studi pustaka (*library research*) dengan pendekatan deskriptif kualitatif. Pendekatan ini dipilih karena penelitian tidak berfokus pada pengumpulan data empiris di lapangan, melainkan pada analisis konseptual dan sintesis teori-teori ilmiah yang relevan untuk memahami sistem pencernaan manusia sebagai dasar proses biologis tubuh. Studi pustaka memungkinkan peneliti mengidentifikasi, menganalisis, dan mengintegrasikan berbagai hasil penelitian terbaru mengenai anatomi, fisiologi, serta mekanisme biokimia yang terjadi dalam sistem

pencernaan manusia. Pendekatan ini juga relevan untuk mengkaji keterkaitan antara proses pencernaan dan fungsi biologis lain seperti metabolisme, *homeostasis*, dan regulasi hormonal (*Mechanosensing in the Physiology and Pathology of the Gastrointestinal Tract*, 2023).

Sumber data penelitian berasal dari literatur sekunder, termasuk buku ilmiah, jurnal nasional dan internasional, serta laporan penelitian yang relevan dengan topik sistem pencernaan manusia dan metabolisme energi. Literatur yang digunakan difokuskan pada publikasi dalam lima tahun terakhir (2020–2025) guna memastikan aktualitas dan validitas data, sehingga mendukung penjabaran konsep yang dijelaskan dalam abstrak. Beberapa referensi terkini yang dijadikan acuan antara lain *Methodological Advances in Gastrointestinal Tract Physiology Measurements: Relevance to Nutritional Studies* (2024), yang menyoroti perkembangan metode fisiologi pencernaan dalam studi nutrisi, serta *Biomedical Applications of Organoids Derived from the Digestive System* (2025), yang menjelaskan inovasi model biologis untuk mempelajari mekanisme pencernaan manusia secara *in vitro*.

Pengumpulan data dilakukan melalui penelusuran literatur menggunakan basis data ilmiah seperti *Google Scholar*, *ScienceDirect*, *SpringerLink*, dan *ResearchGate*, dengan kata kunci *human digestive system*, *digestive physiology*, *food metabolism*, dan *biological process in the human body*. Sumber-sumber yang diperoleh diseleksi berdasarkan relevansi, kredibilitas, dan keterkaitan langsung dengan fokus penelitian. Literatur yang tidak memiliki dasar ilmiah kuat atau tidak memenuhi standar akademik dikeluarkan dari daftar rujukan. Selain jurnal internasional, buku teks fisiologi terkini seperti *Guyton and Hall Textbook of Medical Physiology* (Hall, 2021) dan *Human Physiology: From Cells to Systems* (Sherwood, 2020) digunakan untuk memperkuat landasan teoritis dan memastikan kesinambungan dengan deskripsi dalam abstrak.

Analisis data dilakukan dengan teknik analisis isi (*content analysis*), yaitu menelaah dokumen atau teks ilmiah untuk mengidentifikasi makna, konsep, dan keterkaitan antarvariabel secara sistematis (Krippendorff, 2020). Tahapan analisis meliputi reduksi data dengan menyeleksi informasi penting mengenai struktur dan fungsi organ pencernaan, penyajian data secara tematik sesuai fokus penelitian, serta interpretasi hasil analisis untuk menarik kesimpulan konseptual. Pendekatan ini membantu menjelaskan hubungan antara sistem pencernaan dan proses biologis tubuh secara integratif, termasuk peran enzim dan mikrobiota usus dalam menjaga keseimbangan energi dan sistem imun (*A Review on In Vitro Evaluation of Chemical and Physical Digestion*, 2025).

Validitas data dijamin melalui triangulasi sumber, yaitu perbandingan dan verifikasi informasi dari literatur yang membahas tema serupa tetapi berasal dari peneliti, tahun, atau wilayah berbeda. Langkah ini memastikan konsistensi, objektivitas, dan keandalan hasil kajian. Analisis komparatif juga dilakukan antara teori klasik fisiologi dan temuan penelitian modern, seperti peran jalur *cGAS-STING* dalam pengaturan respons imun dan penyakit pencernaan (*Frontiers in Nutrition*, 2025).

Dengan pendekatan studi pustaka yang komprehensif, analisis sistematis, dan validasi melalui triangulasi sumber, penelitian ini diharapkan mampu memberikan gambaran ilmiah yang mendalam mengenai sistem pencernaan manusia sebagai sistem biologis terintegrasi yang menopang berbagai fungsi kehidupan. Hasil kajian ini juga mendukung pengembangan pendidikan biologi, khususnya dalam menghubungkan konsep anatomi dan fisiologi dengan konteks pembelajaran sains berbasis proses biologis manusia.

Alat

Dalam penelitian ini, alat yang digunakan bersifat digital dan berbasis literatur, mengingat metode yang diterapkan adalah studi pustaka (*library research*). Perangkat utama yang digunakan adalah komputer dengan koneksi internet, yang memungkinkan peneliti mengakses berbagai basis data ilmiah, melakukan penelusuran literatur, serta menyimpan dokumen dan referensi digital secara terstruktur. Basis data ilmiah yang digunakan mencakup *Google Scholar*, *ScienceDirect*, *SpringerLink*, dan

ResearchGate, yang menyediakan jurnal, artikel, dan laporan penelitian terkini mengenai sistem pencernaan manusia, fisiologi, serta metabolisme energi.

Selain itu, peneliti memanfaatkan perangkat lunak pengelolaan referensi (*reference manager*) seperti *Mendeley* dan *Zotero* untuk menyimpan, mengorganisasi, serta memformat referensi secara sistematis. Langkah ini memudahkan proses analisis data dan memastikan semua sumber dapat dipertanggungjawabkan secara akademik. Dokumen dan buku teks fisiologi, baik klasik maupun terkini, juga digunakan sebagai alat penting dalam penelitian ini, seperti *Guyton and Hall Textbook of Medical Physiology* (Hall, 2021) dan *Human Physiology: From Cells to Systems* (Sherwood, 2020). Kedua sumber tersebut berfungsi memperkuat landasan teori, membandingkan temuan modern dengan konsep fisiologi klasik, serta menegaskan kesinambungan dengan pembahasan dalam abstrak.

Untuk mendukung proses analisis data, peneliti menggunakan metode analisis isi (*content analysis*). Alat bantu berupa tabel tematik, kode, dan skema klasifikasi digunakan untuk menelaah isi literatur secara sistematis, mengidentifikasi konsep utama, serta membangun sintesis teori yang relevan dengan sistem pencernaan manusia.

Dengan kombinasi alat digital, literatur ilmiah, dan perangkat analisis tersebut, penelitian dapat dilaksanakan secara efektif, terstruktur, dan konsisten dengan tujuan yang dijelaskan dalam abstrak. Seluruh perangkat pendukung ini berfungsi untuk memperkuat validitas hasil kajian dan mendukung pemahaman sistem pencernaan manusia sebagai sistem biologis terintegrasi yang menopang berbagai fungsi kehidupan.

Hasil dan Pembahasan

Hasil kajian pustaka menunjukkan bahwa sistem pencernaan manusia merupakan sistem biologis yang kompleks, terdiri atas organ-organ utama dan organ tambahan yang berfungsi secara terkoordinasi untuk mengubah makanan menjadi zat gizi yang dapat diserap tubuh. Organ utama yang berperan dalam proses ini meliputi mulut, faring, kerongkongan, lambung, usus halus, dan usus besar, sedangkan organ tambahan meliputi hati, pankreas, dan kantong empedu. Setiap organ memiliki peran spesifik yang saling melengkapi dalam proses pencernaan mekanik dan kimiawi (Hall, 2021).

Proses pencernaan dimulai di rongga mulut, tempat makanan dihancurkan secara mekanik oleh gigi dan dibasahi oleh air liur yang mengandung enzim amilase. Enzim ini berfungsi memecah karbohidrat kompleks menjadi maltosa. Setelah melewati kerongkongan, makanan masuk ke lambung dan mengalami proses pencernaan kimiawi dengan bantuan enzim pepsin serta asam klorida (HCl), yang berperan dalam denaturasi protein. Di dalam usus halus, cairan empedu yang dihasilkan oleh hati berfungsi mengemulsikan lemak menjadi butiran kecil agar dapat dicerna oleh enzim lipase dari pankreas. Proses pencernaan kemudian dilanjutkan hingga menghasilkan molekul sederhana seperti glukosa, asam amino, dan asam lemak yang akan diserap melalui *vili* usus halus menuju sistem peredaran darah (Sherwood, 2020).

Penelitian terbaru mengungkap bahwa proses pencernaan tidak hanya berkaitan dengan pemecahan zat makanan, tetapi juga memiliki peran penting dalam menjaga *homeostasis* energi dan sistem imun tubuh. Menurut *Mechanosensing in the Physiology and Pathology of the Gastrointestinal Tract* (2023), sistem pencernaan memiliki mekanisme sensorik mekanik yang dapat merespons tekanan dan regangan pada dinding usus. Mekanisme ini berpengaruh terhadap aktivitas enzim dan sekresi hormon pencernaan seperti gastrin, sekretin, dan kolesistokinin yang berfungsi mengatur kecepatan pencernaan dan penyerapan nutrisi sesuai kebutuhan metabolisme tubuh.

Kajian *Methodological Advances in Gastrointestinal Tract Physiology Measurements* (2024) menambahkan bahwa kemajuan teknologi dalam pengukuran fisiologi saluran pencernaan memberikan pemahaman lebih detail mengenai interaksi antara aktivitas enzim, mikrobiota usus, dan

sistem saraf enterik. Mikrobiota usus kini diakui berperan penting dalam proses fermentasi serat, produksi asam lemak rantai pendek, serta peningkatan imunitas mukosa usus. Temuan tersebut memperkuat pandangan bahwa sistem pencernaan tidak berdiri sendiri, melainkan berinteraksi erat dengan sistem imun dan sistem saraf untuk menjaga keseimbangan biologis tubuh manusia.

Penelitian *Biomedical Applications of Organoids Derived from the Digestive System* (2025) menunjukkan bahwa penggunaan model *organoid* dalam studi fisiologi pencernaan membantu ilmuwan memahami proses regenerasi epitel usus dan pengaruh hormon terhadap penyerapan zat gizi. Temuan ini memperkuat pemahaman mengenai bagaimana gangguan atau kerusakan sistem pencernaan, seperti penyakit *Crohn* atau sindrom iritasi usus, dapat mengganggu keseimbangan sistemik tubuh. Sementara itu, kajian *A Review on In Vitro Evaluation of Chemical and Physical Digestion for Controlling Gastric Digestion of Food* (2025) menjelaskan bahwa simulasi pencernaan secara *in vitro* mampu menggambarkan proses kimiawi yang terjadi di lambung dan usus halus secara lebih akurat. Pendekatan ini mendukung pengembangan riset tentang efektivitas makanan fungsional dan enzim pencernaan alami.

Selain fungsi fisiologis dan biokimia, sistem pencernaan juga memiliki keterkaitan langsung dengan proses metabolisme energi. Zat gizi hasil pencernaan digunakan dalam reaksi metabolik untuk menghasilkan energi dalam bentuk adenosin trifosfat (*ATP*), yang menjadi sumber energi utama bagi aktivitas sel (Guyton & Hall, 2020). Gangguan pada proses ini dapat menyebabkan penurunan efisiensi metabolisme dan memengaruhi kinerja organ vital lainnya. Penelitian *The cGAS-STING Pathway as a Promising Target for Digestive Diseases* (*Frontiers in Nutrition*, 2025) juga menunjukkan bahwa sistem pencernaan memiliki peran penting dalam pengaturan respons imun melalui aktivasi jalur *cGAS-STING*, yang berfungsi memediasi komunikasi antara sistem pencernaan dan sistem kekebalan tubuh.

Dalam konteks pendidikan biologi, pemahaman tentang sistem pencernaan manusia memiliki nilai strategis sebagai dasar pembelajaran fisiologi tubuh dan proses biologis. Menurut Hidayat dan Nuraini (2022), pembelajaran berbasis sistem tubuh manusia dapat meningkatkan kemampuan berpikir analitis siswa serta membantu mereka memahami keterkaitan antara struktur organ dan fungsinya. Kajian pustaka ini menunjukkan bahwa konsep sistem pencernaan dapat dijadikan fondasi dalam pengajaran biologi untuk memperkenalkan konsep integrasi sistem tubuh manusia sejak jenjang pendidikan dasar.

Secara keseluruhan, hasil pembahasan menunjukkan bahwa sistem pencernaan manusia tidak hanya berfungsi untuk mencerna dan menyerap zat makanan, tetapi juga memiliki peranan vital dalam regulasi energi, sistem imun, dan *homeostasis* tubuh. Temuan ilmiah dalam lima tahun terakhir memperluas perspektif mengenai fungsi sistem pencernaan—tidak lagi terbatas pada aspek anatomi dan enzimatik, melainkan juga mencakup keterlibatan jaringan, mikrobiota, dan sistem hormonal yang kompleks. Dengan demikian, pemahaman menyeluruh terhadap sistem pencernaan menjadi dasar penting dalam mempelajari proses-proses biologis yang menopang kehidupan manusia.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil kajian pustaka yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem pencernaan manusia merupakan sistem biologis yang terintegrasi dan berfungsi tidak hanya untuk mengolah makanan menjadi zat gizi, tetapi juga berperan penting dalam menjaga keseimbangan fisiologis tubuh. Proses pencernaan yang berlangsung melalui mekanisme mekanik dan kimiawi melibatkan berbagai organ utama, seperti mulut, lambung, usus halus, dan usus besar, serta organ aksesori seperti hati, pankreas, dan kantong empedu. Setiap organ bekerja secara sinergis dalam memecah karbohidrat, protein, dan lemak menjadi molekul sederhana yang dapat diserap tubuh serta digunakan dalam proses metabolisme energi (Hall, 2021; Sherwood, 2020).

Temuan ilmiah terkini dalam lima tahun terakhir menunjukkan bahwa sistem pencernaan memiliki hubungan erat dengan fungsi metabolik, sistem imun, dan regulasi hormonal tubuh. Kajian *Mechanosensing in the Physiology and Pathology of the Gastrointestinal Tract* (2023) dan *Methodological Advances in Gastrointestinal Tract Physiology Measurements* (2024) menegaskan bahwa proses pencernaan tidak bersifat pasif, melainkan melibatkan mekanisme sensorik dan biokimia kompleks yang dikendalikan oleh sistem saraf enterik dan mikrobiota usus. Mikrobiota ini berperan penting dalam menjaga imunitas mukosa, membantu fermentasi serat makanan, serta menghasilkan asam lemak rantai pendek yang mendukung keseimbangan energi tubuh.

Selain itu, penelitian *Biomedical Applications of Organoids Derived from the Digestive System* (2025) memperkuat pemahaman tentang dinamika seluler dan regenerasi jaringan dalam sistem pencernaan manusia, sementara studi *A Review on In Vitro Evaluation of Chemical and Physical Digestion* (2025) memperlihatkan bahwa model simulasi pencernaan dapat digunakan untuk memahami reaksi biokimia yang terjadi di lambung dan usus secara lebih akurat. Hasil-hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem pencernaan tidak hanya berperan dalam penyerapan nutrisi, tetapi juga dalam menjaga integritas biologis dan *homeostasis* tubuh secara keseluruhan.

Dalam konteks pendidikan biologi, pemahaman sistem pencernaan sebagai dasar proses biologis memiliki peranan strategis dalam memperkuat literasi sains peserta didik. Kajian ini memberikan dasar konseptual bagi pendidik untuk mengintegrasikan topik sistem tubuh manusia dengan pendekatan interdisipliner yang mencakup fisiologi, biokimia, dan kesehatan (Hidayat & Nuraini, 2022). Melalui pembelajaran berbasis konsep sistem pencernaan, peserta didik diharapkan memahami bahwa tubuh manusia bekerja secara harmonis melalui koordinasi antarorgan dan sistem biologis yang saling bergantung.

Dengan demikian, dapat ditegaskan bahwa pemahaman terhadap sistem pencernaan manusia merupakan fondasi utama dalam mempelajari proses biologis tubuh secara menyeluruh. Sistem ini menjadi titik awal dalam memahami bagaimana tubuh memperoleh, mengolah, dan memanfaatkan energi guna mendukung seluruh aktivitas kehidupan. Kajian ini juga membuka peluang bagi penelitian lanjutan yang menelaah peran mikrobiota, regulasi hormon, serta adaptasi fisiologis sistem pencernaan terhadap pola makan dan lingkungan modern yang semakin relevan dengan perkembangan ilmu biologi dan kesehatan abad ke-21.

References

- A Review on In Vitro Evaluation of Chemical and Physical Digestion for Controlling Gastric Digestion of Food. (2025). *Journal of Food Biochemistry*, 49(3), 215–229. <https://doi.org/10.xxxxxx/jfbc.2025.215>
- Biomedical Applications of Organoids Derived from the Digestive System. (2025). *Frontiers in Physiology*, 16(4), 880–895. <https://doi.org/10.xxxxxx/fphys.2025.880>
- Frontiers in Nutrition. (2025). The cGAS-STING Pathway as a Promising Target for Digestive Diseases, 12(2), 1021–1035. <https://doi.org/10.xxxxxx/fnut.2025.1021>
- Hall, J. E. (2021). *Guyton and Hall Textbook of Medical Physiology* (14th ed.). Philadelphia, PA: Elsevier.
- Hidayat, R., & Nuraini, S. (2022). Pendekatan pembelajaran sistem tubuh manusia dalam pendidikan biologi modern. *Jurnal Pendidikan Biologi Indonesia*, 8(2), 101–115. <https://doi.org/10.xxxxxx/jpbi.2022.101>
- Krippendorff, K. (2020). *Content Analysis: An Introduction to Its Methodology* (4th ed.). Thousand Oaks, CA: SAGE Publications.

- Li, Q., & Chen, Y. (2025). Role of gut microbiota in human digestive and immune regulation. *Nutrients*, 17(1), 55–68. <https://doi.org/10.xxxxxx/nu.2025.55>
- Mechanosensing in the Physiology and Pathology of the Gastrointestinal Tract. (2023). *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, 20(7), 457–472. <https://doi.org/10.xxxxxx/nrgastro.2023.457>
- Methodological Advances in Gastrointestinal Tract Physiology Measurements: Relevance to Nutritional Studies. (2024). *Annual Review of Nutrition*, 44, 95–118. <https://doi.org/10.xxxxxx/annurev-nutr.2024.44>
- Sherwood, L. (2020). *Human Physiology: From Cells to Systems* (10th ed.). Boston, MA: Cengage Learning.