



Proses Metabolisme dalam Tubuh dan Proses Regulasi Cairan dalam Tubuh

Miftahul Khairani^{1*}, Primsa Kafila Nahombang², Sahraini Maulida³, Fahmi Pratama⁴

¹⁻⁴Jurusan Tadris Biologi, Universitas Islam Negeri Sumatera Utara, Medan, Indonesia

Email: miftahulhairani92@gmail.com^{1*}, primsakafila@gmail.com², sahrainimaulida@gmail.com³, fahmipratama505@gmail.com⁴

*Penulis Korespondensi: miftahulhairani92@gmail.com

Abstract. *Metabolism is a chemical process within cells that plays a role in producing energy, while body fluid regulation serves to maintain internal balance so that physiological processes occur optimally. This study aims to examine the relationship between metabolism and body fluid regulation through a literature review. The method used is a literature review with a qualitative descriptive approach based on 10 relevant scientific articles. The results of the study indicate that macromolecular metabolism produces energy through ATP formation, while body fluid regulation involves osmosis mechanisms, electrolyte balance, the hormone vasopressin, and kidney function in maintaining body homeostasis. These two systems are interconnected because metabolism requires stable internal conditions, while metabolic products can affect the body's fluid and electrolyte balance. This shows that the body has the flexibility to utilize various macromolecules as energy sources according to physiological needs. Overall, these various metabolic pathways are interconnected in supporting energy production for the body. However, some literature still discusses metabolic pathways separately so that the interrelationships between metabolisms in the body's energy system have not been fully described. Therefore, metabolism and fluid regulation play an important role in maintaining the stability of human physiological functions.*

Keywords: *Energy Metabolism; Fluid Balance; Fluid Regulation; Homeostasis; Metabolism.*

Abstrak. Metabolisme merupakan proses kimiawi di dalam sel yang berperan dalam menghasilkan energi, sedangkan regulasi cairan tubuh berfungsi menjaga keseimbangan internal agar proses fisiologis berlangsung optimal. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji keterkaitan antara metabolisme dan regulasi cairan tubuh melalui studi literatur. Metode yang digunakan adalah studi literatur dengan pendekatan deskriptif kualitatif berdasarkan 10 artikel ilmiah yang relevan. Hasil kajian menunjukkan bahwa metabolisme makromolekul menghasilkan energi melalui pembentukan ATP, sementara regulasi cairan tubuh melibatkan mekanisme osmosis, keseimbangan elektrolit, hormon vasopresin, dan fungsi ginjal dalam menjaga homeostasis tubuh. Kedua sistem tersebut saling berkaitan karena metabolisme memerlukan kondisi internal yang stabil, sedangkan hasil metabolisme dapat memengaruhi keseimbangan cairan dan elektrolit tubuh. Hal ini menunjukkan bahwa tubuh memiliki fleksibilitas dalam memanfaatkan berbagai makromolekul sebagai sumber energi sesuai kebutuhan fisiologis. Secara keseluruhan, berbagai jalur metabolisme tersebut saling terhubung dalam mendukung produksi energi bagi tubuh. Namun demikian, beberapa literatur masih membahas jalur metabolisme secara terpisah sehingga keterkaitan antarmetabolisme dalam sistem energi tubuh belum tergambar secara menyeluruh. Oleh karena itu, metabolisme dan regulasi cairan memiliki peran penting dalam mempertahankan kestabilan fungsi fisiologis manusia.

Kata-kata kunci: Homeostasis; Keseimbangan Cairan; Metabolisme; Metabolisme Energi; Regulasi Cairan Tubuh.

1. PENDAHULUAN

Metabolisme merupakan seluruh reaksi kimia yang berlangsung di dalam sel dan berperan penting dalam menunjang aktivitas kehidupan organisme. Proses metabolisme terdiri atas dua jenis, yaitu anabolisme yang berfungsi menyusun molekul sederhana menjadi molekul yang lebih kompleks, serta katabolisme yang berfungsi menguraikan molekul kompleks menjadi bentuk yang lebih sederhana (Safitri et al., 2025). Katabolisme berperan dalam

menghasilkan energi melalui pemecahan karbohidrat, protein, dan lemak yang diperlukan untuk aktivitas serta pertumbuhan dan perkembangan sel, sedangkan anabolisme merupakan proses penyusunan molekul sederhana menjadi makromolekul kompleks yang dibutuhkan tubuh. Sebagian besar proses metabolisme energi tersebut berlangsung di mitokondria melalui siklus Krebs untuk menghasilkan ATP sebagai sumber energi utama sel (Henggu & Nurdiansyah, 2021). Dalam menjalankan proses metabolisme, tubuh memerlukan kondisi internal yang stabil agar fungsi sel, jaringan, dan organ dapat berjalan dengan optimal. Kestabilan kondisi internal tersebut dipertahankan melalui mekanisme homeostasis. Homeostasis merupakan mekanisme tubuh dalam menjaga kestabilan lingkungan internal meskipun terjadi perubahan pada lingkungan eksternal. Proses ini mengatur berbagai kondisi fisiologis, seperti suhu tubuh, keseimbangan cairan, kadar gula darah, pH, serta konsentrasi ion melalui kerja sistem saraf dan endokrin. Gangguan pada homeostasis dapat menyebabkan terganggunya fungsi organ dan sistem tubuh (Nasyafa et al., 2024).

Salah satu aspek penting dalam homeostasis adalah keseimbangan cairan tubuh. Cairan tubuh memiliki peranan penting dalam menjaga kelangsungan fungsi fisiologis karena sekitar 50–70% tubuh manusia tersusun atas cairan. Keseimbangan cairan perlu dipertahankan melalui mekanisme regulasi untuk menjaga homeostasis tubuh (Sutanto & Rania, 2020). Regulasi ini melibatkan hormon antidiuretik (ADH) atau vasopresin yang diproduksi di hipotalamus dan berperan dalam mengatur tekanan darah, homeostasis natrium, serta keseimbangan osmotik tubuh melalui pengaruhnya terhadap fungsi ginjal. ADH bekerja dengan meningkatkan reabsorpsi air pada ginjal, terutama pada tubulus distal akhir dan duktus koligenes melalui pengaturan protein transpor air (Brian et al., 2021). Apabila keseimbangan cairan tubuh terganggu, kondisi tersebut dapat menyebabkan dehidrasi, yaitu keadaan ketika jumlah cairan yang keluar lebih besar dibandingkan cairan yang masuk. Dehidrasi umumnya terjadi akibat paparan suhu tinggi dalam waktu yang lama dan dapat memengaruhi kondisi fisiologis serta kesehatan tubuh (Suroso et al., 2025).

Laju metabolisme merupakan faktor fisiologis penting yang memengaruhi berbagai proses kehidupan dalam tubuh manusia. Metabolisme bersifat dinamis dan tidak konstan, karena dapat dipengaruhi oleh kondisi internal maupun eksternal tubuh. Berbagai faktor seperti suhu lingkungan, usia, jenis kelamin, indeks massa tubuh (BMI), serta tingkat aktivitas fisik dapat menyebabkan variasi laju metabolisme. Oleh karena itu, metabolisme mampu menyesuaikan kebutuhan energi tubuh dalam mempertahankan fungsi fisiologisnya (Zhao et al., 2025). Namun, dalam kajian biokimia dan fisiologi, hubungan antara metabolisme dan

regulasi cairan tubuh masih perlu dipahami lebih dalam. Keduanya sama-sama berperan dalam menjaga kestabilan fungsi sel. Metabolisme berfungsi menghasilkan energi melalui pembentukan ATP, sedangkan regulasi cairan menjaga keseimbangan air, elektrolit, dan kondisi kimia tubuh agar reaksi biokimia bisa berjalan dengan baik. Jika salah satu terganggu, maka keseimbangan tubuh dapat mengalami gangguan. Karena itu, kajian tentang metabolisme dan regulasi cairan tubuh penting untuk memberikan gambaran yang lebih utuh mengenai cara tubuh mempertahankan kestabilannya

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji keterkaitan antara proses metabolisme dan mekanisme regulasi cairan tubuh dalam mempertahankan homeostasis tubuh.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kualitatif dengan metode studi literatur. Pengumpulan data dilakukan melalui studi dokumentasi dengan mengumpulkan berbagai jurnal ilmiah yang diperoleh dari Google Scholar, ResearchGate, PUMB, dan sumber ilmiah lainnya. Pencarian literatur dilakukan menggunakan kata kunci seperti “metabolisme”, “regulasi cairan tubuh”, “homeostasis”, dan “keseimbangan cairan”. Artikel yang diperoleh kemudian diseleksi berdasarkan kesesuaian topik, relevansi pembahasan, kredibilitas sumber, serta tahun publikasi dalam lima tahun terakhir. Hasil seleksi tersebut menghasilkan 10 artikel ilmiah yang digunakan sebagai sumber kajian dalam penelitian ini. Teknik analisis data dilakukan secara deskriptif analitis melalui tahapan membaca, mengidentifikasi, mengelompokkan, membandingkan, dan menafsirkan isi setiap literatur. Data yang diperoleh kemudian disusun secara sistematis untuk menganalisis keterkaitan antara proses metabolisme dan mekanisme regulasi cairan tubuh.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data artikel yang digunakan dalam studi literatur mengenai metabolisme dan regulasi cairan tubuh disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Daftar Artikel Penelitian yang Digunakan dalam Studi Literatur.

No	Judul Artikel	Nama Peneliti	Tahun Publikasi	Fokus Kajian
1.	Analisis Hubungan metabolisme karbohidrat dengan regulasi glukosa darah pada individu dengan pola diet berbeda	Ismiati Hi. Yusuf dan Fitria M. Radjak	2026	Membahas hubungan metabolisme karbohidrat dengan regulasi kadar glukosa darah pada individu yang menerapkan pola diet berbeda.
2.	Review dari Metabolisme Karbohidrat, Lipid, Protein, dan Asam Nukleat	Krisman Umbu Henggu dan Yopi Nurdiansyah	2021	Metabolisme dalam tubuh meliputi metabolisme karbohidrat, lipid, protein, dan asam nukleat yang berperan dalam menghasilkan energi serta menjaga fungsi fisiologis tubuh.
3.	<i>Regulation and function of the mammalian tricarboxylic acid cycle</i>	Paige K. Arnold dan Lydia W.S. Finley	2023	Membahas fungsi dan regulasi siklus krebs (siklus asam sitrat/ <i>TCA cycle</i>) dalam metabolisme energi, serta peran karbohidrat, protein, dan lemak dalam menghasilkan energi.
4.	Amino Acid catabolism: An overlooked area of metabolism	Nimbe Torres, Sandra Tobon-Cornejo, Laura A Velazquer-Villegas, Lilia G Noriega, Gabriela Aleman-Escondrillas dan Armando R Tovar	2023	Membahas proses katabolisme asam amino dalam metabolisme tubuh, termasuk peran asam amino dalam produksi energi, regulasi metabolisme, respon imun dan hubungannya dengan obesitas serta resistensi insulin.
5.	Peran leptin dalam metabolisme	Rahmi dan Sharlina desfika nasution	2023	Membahas peran leptin dalam metabolisme tubuh
6.	Keseimbangan Cairan Tubuh Selama Aktivitas Fisik pada Mahasiswa Ilmu Keolahragaan Universitas Negeri Semarang	Pertiwi Dwi Setyawati, Fairuz Ilham Purnama Putra, Erlin Lusianingrum, dan Kukuh Mu'ammarr Abrar.	2024	Membahas keseimbangan cairan tubuh selama aktivitas fisik serta pentingnya hidrasi dalam menjaga fungsi fisiologis dan performa tubuh.
7.	Homeostasis Tubuh	Syabila Febrilia Nasyafa, Oktadoni Saputra, dan Reni Zuraida.	2024	Menjelaskan konsep homeostasis tubuh dan kaitannya dengan metabolisme serta regulasi fisiologis tubuh.
8.	<i>Regulation of Fluid and Electrolyte Balance</i>	Alexander Hunt, Ahmed Essa dan Ross Macnab	2024	Membahas mekanisme regulasi cairan dan elektrolit tubuh, termasuk keseimbangan osmolalitas, natrium, serta perannya dalam menjaga homeostasis tubuh.

9.	<i>Long-term health outcomes associated with hydration status</i>	Natalia I. Dmitrieva, Manfred Boehm, Paul H. Yancey & Sofia Enhörning	2024	Membahas regulasi cairan tubuh berbasis osmolalitas, keseimbangan air, dan mekanisme hormonal (vasopressin).
10.	<i>Kidney Metabolism and acid-base control: back to the basics</i>	Pedro Henrique Imenez Silva dan Nilufar Mohebbi	2022	Membahas metabolisme ginjal, regulasi asam-basa, keseimbangan cairan dan elektrolit tubuh.

Metabolisme Makromolekul dan Keterkaitannya dalam Produksi Energi

Metabolisme makromolekul merupakan proses yang saling terhubung dalam menghasilkan energi di dalam tubuh. Henggu & Nurdiansyah (2021) menjelaskan bahwa metabolisme karbohidrat, lipid, protein, dan asam nukleat tidak berlangsung secara terpisah, tetapi saling berkaitan dalam memenuhi kebutuhan energi sel. Sebelum memasuki proses metabolisme lanjutan, makromolekul akan dipecah menjadi senyawa yang lebih sederhana melalui proses katabolisme. Hasil pemecahan tersebut kemudian masuk ke jalur metabolik utama, yaitu siklus TCA (*tricarboxylic acid cycle*) atau siklus Krebs. Arnold & Finley (2023) menjelaskan bahwa siklus TCA berlangsung di dalam mitokondria dan berfungsi sebagai penghubung metabolisme karbohidrat, lemak, dan protein dalam proses produksi energi. Melalui siklus ini dihasilkan ATP (*adenosine triphosphate*) yang menjadi sumber energi utama bagi sel.

Selain karbohidrat dan lemak, Torres et al. (2023) menjelaskan bahwa asam amino juga dapat digunakan sebagai sumber energi alternatif pada kondisi tertentu, seperti saat tubuh mengalami kekurangan energi. Hal ini menunjukkan bahwa tubuh memiliki fleksibilitas dalam memanfaatkan berbagai makromolekul sebagai sumber energi sesuai kebutuhan fisiologis. Secara keseluruhan, berbagai jalur metabolisme tersebut saling terhubung dalam mendukung produksi energi bagi tubuh. Namun demikian, beberapa literatur masih membahas jalur metabolisme secara terpisah sehingga keterkaitan antarmetabolisme dalam sistem energi tubuh belum tergambarkan secara menyeluruh.

Keterkaitan Metabolisme dengan Regulasi Cairan Tubuh

Dalam proses metabolisme, regulasi cairan tidak dapat dipisahkan. Cairan tubuh berperan sebagai medium utama berlangsungnya reaksi metabolik, *transport* zat gizi, serta distribusi hasil metabolisme ke seluruh tubuh. Keduanya saling berkaitan dalam menjaga kestabilan proses biokimia tubuh. Dalam aktivitas sehari-hari, keseimbangan cairan tubuh dapat berubah, terutama saat aktivitas fisik. Setyawati et al (2024) menjelaskan bahwa aktivitas fisik dapat menyebabkan kehilangan cairan tubuh melalui keringat, sehingga tubuh perlu

melakukan mekanisme penggantian cairan agar fungsi fisiologis tetap terjaga. Selain perubahan volume cairan, regulasi cairan tubuh juga sangat dipengaruhi oleh perbedaan konsentrasi zat terlarut di dalam tubuh. Perpindahan air antar kompartemen tubuh terjadi melalui proses osmosis, yaitu pergerakan air dari daerah berkonsentrasi zat terlarut rendah ke daerah berkonsentrasi tinggi. Dalam hal ini, ion natrium memiliki peran penting dalam menentukan tekanan osmotik cairan ekstraseluler yang kemudian memengaruhi distribusi air di dalam tubuh.

Penelitian oleh Hunt et al (2024) menjelaskan bahwa regulasi cairan dan elektrolit tubuh melibatkan pengaturan keseimbangan air dan natrium yang berperan dalam mempertahankan volume cairan ekstraseluler serta osmolalitas tubuh. Perubahan konsentrasi zat terlarut dapat memengaruhi perpindahan cairan antar kompartemen melalui proses osmosis sehingga tubuh memerlukan mekanisme pengaturan yang melibatkan ginjal dan sistem hormonal untuk menjaga keseimbangan cairan tubuh. Dmitrieva et al (2024) juga menjelaskan bahwa perubahan osmolalitas plasma akan memicu respons hormonal, terutama melalui hormon vasopressin yang berfungsi meningkatkan reabsorpsi air di ginjal. Mekanisme ini menunjukkan bahwa regulasi cairan tubuh tidak hanya melibatkan organ, tetapi juga kontrol pada tingkat molekuler dan hormonal. Silva & Mohebbi (2022) menambahkan bahwa ginjal memiliki peran utama dalam mengatur keseimbangan cairan, elektrolit seperti natrium, kalium, dan klorida, serta keseimbangan asam-basa. Proses ini melibatkan mekanisme *transport* ion pada membran sel yang berpengaruh terhadap distribusi cairan dalam tubuh. Jika dikaitkan dengan metabolisme, cairan tubuh memiliki peran penting sebagai medium berlangsungnya reaksi biokimia di dalam sel. Selain itu, kondisi cairan dan elektrolit yang seimbang juga diperlukan agar enzim-enzim metabolik dapat bekerja secara optimal.

Regulasi metabolisme tubuh juga dipengaruhi oleh hormon dan asupan nutrisi. Rahmi & Nasution (2023) menjelaskan bahwa leptin berperan dalam pengaturan metabolisme glukosa dan lipid sebagai bagian dari mekanisme keseimbangan energi tubuh. Selain itu, Yusuf & Radjak (2026) menunjukkan bahwa pola diet yang berbeda dapat memengaruhi regulasi kadar glukosa darah yang digunakan sel sebagai sumber energi utama. Kondisi ini menunjukkan bahwa metabolisme dan regulasi fisiologis tubuh saling berkaitan dalam mempertahankan homeostasis. Karena itu, metabolisme dan regulasi cairan saling berkaitan dalam menjaga kestabilan fungsi fisiologis tubuh. Namun demikian, dari beberapa literatur yang dikaji, pembahasan mengenai metabolisme dan regulasi cairan masih sering dipisahkan, padahal

keseimbangan cairan tubuh berpengaruh terhadap berlangsungnya proses metabolisme pada tingkat seluler.

Mekanisme Biokimia Regulasi Cairan, Elektrolit, dan Keseimbangan Asam-Basa Tubuh

Regulasi cairan tubuh merupakan proses penting dalam menjaga kestabilan lingkungan internal (*internal environment*) agar reaksi biokimia dalam tubuh dapat berlangsung secara optimal. Proses ini tidak hanya melibatkan pengaturan volume cairan, tetapi juga keseimbangan elektrolit dan kondisi asam-basa dalam tubuh. Nasyafa et al (2024) menjelaskan bahwa tubuh memiliki mekanisme homeostasis yang mengatur suhu, pH, cairan, dan elektrolit agar tetap berada dalam kondisi seimbang. Mekanisme homeostasis tersebut diperlukan karena perubahan kecil pada kondisi internal tubuh dapat memengaruhi fungsi sel, aktivitas enzim, serta berbagai reaksi metabolik dalam tubuh. Karenanya, tubuh memerlukan sistem regulasi yang mampu mempertahankan kestabilan lingkungan internal secara terus-menerus.

Keseimbangan elektrolit seperti natrium, kalium, dan klorida berperan penting dalam menjaga tekanan osmotik, potensial membran sel, serta distribusi cairan tubuh. Ketidakseimbangan elektrolit dapat mengganggu fungsi fisiologis dan aktivitas metabolisme sel. Silva & Mohebbi (2022) menjelaskan bahwa ginjal berperan sebagai organ utama dalam regulasi cairan dan elektrolit melalui mekanisme filtrasi, reabsorpsi, dan sekresi ion. Selain itu, ginjal juga berperan dalam menjaga keseimbangan asam-basa melalui pengaturan ekskresi ion hidrogen dan reabsorpsi bikarbonat. Keseimbangan asam-basa tubuh diatur melalui sistem buffer yang melibatkan ion bikarbonat (HCO_3^-) dan karbon dioksida (CO_2) untuk mempertahankan kestabilan pH darah agar reaksi enzimatik dalam metabolisme dapat berlangsung optimal. Hal ini menunjukkan bahwa kestabilan cairan, elektrolit, dan pH tubuh sangat berpengaruh terhadap proses metabolisme pada tingkat seluler.

Berdasarkan hal tersebut maka regulasi cairan tubuh merupakan sistem biokimia kompleks yang melibatkan organ, ion, serta mekanisme molekuler dalam menjaga kestabilan lingkungan internal tubuh. Keseimbangan cairan, elektrolit, dan asam-basa memiliki keterkaitan erat dengan proses metabolisme karena berperan dalam mendukung aktivitas sel dan menjaga berlangsungnya fungsi fisiologis tubuh secara optimal.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan literatur yang dianalisis dapat ditarik kesimpulan bahwa metabolisme makromolekul dan regulasi cairan tubuh saling berkaitan dalam menjaga homeostasis tubuh. Metabolisme karbohidrat, lipid, protein, dan asam nukleat menghasilkan ATP sebagai sumber

energi utama sel, sedangkan regulasi cairan berperan menjaga keseimbangan air, elektrolit, dan asam-basa agar proses metabolisme dapat berlangsung optimal. Mekanisme ini melibatkan osmosis, hormon, serta fungsi ginjal dalam mempertahankan kestabilan lingkungan internal tubuh. Oleh sebab itu metabolisme dan regulasi cairan merupakan sistem yang saling mendukung dalam menjaga fungsi fisiologis tubuh secara optimal.

DAFTAR REFERENSI

- Arnold, P. K., & Finley, L. W. (2023). Regulation and function of the mammalian tricarboxylic acid cycle. *Journal of Biological Chemistry*, 299(2), 102838.
- Brian, C., Sandeep, P., & Sarah, L. (2021). *Physiology Vasopressin*. StatPearls.
- Dmitrieva, N. I., Boehm, M., Yancey, P. H., & Enhörning, S. (2024). Long-term health outcomes associated with hydration status. *Nature Reviews Nephrology*, 20(5), 275–294. <https://doi.org/10.1038/s41581-024-00817-1>
- Henggu, K. Umbu, & Nurdiansyah, Y. (2021). Review dari metabolisme karbohidrat, lipid, protein, dan asam nukleat. *Quimica: Jurnal Kimia Sains Dan Terapan*, 3(2), 9–17.
- Hunt, A., Essa, A., & Macnab, R. (2024). Regulation of fluid and electrolyte balance. *Anaesthesia & Intensive Care Medicine*, 25(5), 332–338. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.mpaic.2024.03.007>
- Nasyafa, S. febrilia, Saputra, O., & Zuraida, R. (2024). Homeostatis Tubuh. *Medula*, 14(2), 249–253.
- Rahmi, & Nasution, S. desfika. (2023). Peran leptin dalam metabolisme. *Jurnal Pandu Husada*, 4(2), 35–40.
- Safitri, A., Marfuah, F. A. R., Wahyuningsih, R. A., Anggraini, S. A. W. S. O. K. S. N., & Arini, L. D. D. (2025). Konsep Dasar Metabolisme Tubuh, Metabolisme Karbohidrat, Protein, Lemak, Mineral, Elektrolit dan Vitamin. *Journal of Literature Review*, 1(2), 683–687.
- Setyawati, P. D., Putra, F. I. P., Lusianingrum, E., & Abrar, K. M. (2024). Keseimbangan Cairan Tubuh Selama Aktivitas Fisik pada Mahasiswa Ilmu Keolahragaan Universitas Negeri Semarang. *Jurnal Angka*, 1(1), 173–180.
- Silva, P. H. I., & Mohebbi, N. (2022). Kidney metabolism and acid–base control: back to the basics. *Flugers Arch - Eur J Physiol*, 474, 919–934. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s00424-022-02696-6>
- Suroso, H., Qomariah, siti nur, Bakar, A., & Paraswati, mareta deka. (2025). Edukasi pemberdayaan masyarakat pemenuhan kebutuhan cairan dan elektrolit guna mencegah dehidrasi. *Community Development in Health Journal*, 3(1), 20–28.
- Sutanto, R., & Rania, G. (2020). Interaksi biokimia pada regulasi cairan tubuh. *Khazanah: Jurnal Mahasiswa*, 12(1), 18–24.
- Torres, N., Tobón-Cornejo, S., Velazquez-Villegas, L. A., Noriega, L. G., Alemán-Escondrillas, G., & Tovar, A. R. (2023). Amino Acid Catabolism: An Overlooked Area of Metabolism. *Nutrients*, 15, 3378. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/nu15153378>

- Yusuf, I. H., & Radjak, F. M. (2026). Analisis Hubungan metabolisme karbohidrat dengan regulasi glukosa darah pada individu dengan pola diet berbeda. *Jurnal Penelitian Perawat Profesional*, 7(1), 589–596.
- Zhao, S., Yang, L., Gao, S., Yan, H., Zhang, H., Arens, E., Liu, S., & Zhai, Y. (2025). Influencing factors of metabolic rates and their implications in thermal comfort research. *Energy and Buildings*.