



Metabolisme Asam Amino dan Protein dalam Tubuh Manusia: Tinjauan Jalur dan Regulasi Metabolik

Amino Acid and Protein Metabolism in the Human Body: An Overview of Metabolic Pathways and Regulation

Rizka Aulia Br Saragih^{1*}, Laila Agustina², Mutiara Pratiwi³, Chantika Imelia Br Sinaga⁴

Universitas Negeri Medan

Email: rizkauliasrg.4241210002@mhs.unimed.ac.id¹, laila.4243210018@mhs.unimed.ac.id²,
mutiapratiwi.4241210001@mhs.unimed.ac.id³, chantika.4243210036@mhs.unimed.ac.id⁴

Article Info

Article history :

Received : 24-09-2026

Revised : 26-09-2026

Accepted : 28-09-2026

Published : 30-09-2026

Abstract

Amino acid and protein metabolism is a series of important processes in the human body that play a role in protein synthesis, energy production, nitrogen balance regulation, and the maintenance of tissue function and regeneration. This article aims to examine the metabolic pathways of amino acids and proteins, including protein metabolism, transamination and deamination, the urea cycle, protein synthesis and degradation, metabolic regulation, and various amino acid metabolic disorders. The method used was a literature review involving a systematic review of scientific journals, reference books, conference proceedings, and relevant scientific articles. The literature was obtained from several databases, namely Google Scholar, Garuda, SINTA, ScienceDirect, and ResearchGate, and was then selected based on relevance, year of publication, availability of full text, and clarity of methodology. The results of the review indicate that amino acids not only serve as the building blocks of proteins but can also be used as an energy source and are closely related to carbohydrate and lipid metabolism. Transamination and deamination play a role in nitrogen metabolism, while the urea cycle converts ammonia into urea for excretion. Protein synthesis and degradation occur regularly to maintain protein balance in the body. Disruptions in these metabolic pathways can lead to various diseases, such as phenylketonuria, alkaptonuria, MSUD, Hartnup disease, serine deficiency,

Keywords : Amino Acids, Protein Metabolism, Urea Cycle

Abstrak

Metabolisme asam amino dan protein merupakan rangkaian proses penting dalam tubuh manusia yang berperan dalam pembentukan protein, penyediaan energi, pengaturan keseimbangan nitrogen, serta pemeliharaan fungsi dan regenerasi jaringan. Artikel ini bertujuan untuk mengkaji jalur metabolisme asam amino dan protein, meliputi metabolisme protein, transaminasi dan deaminasi, siklus urea, sintesis dan degradasi protein, regulasi metabolisme, serta berbagai gangguan metabolisme asam amino. Metode yang digunakan adalah literature review dengan pendekatan studi kepustakaan melalui penelaahan jurnal ilmiah, buku referensi, prosiding, dan artikel ilmiah yang relevan. Literatur diperoleh melalui beberapa database, yaitu Google Scholar, Garuda, SINTA, ScienceDirect, dan ResearchGate, kemudian diseleksi berdasarkan relevansi, tahun terbit, ketersediaan teks lengkap, dan kejelasan metodologi. Hasil kajian menunjukkan bahwa asam amino tidak hanya berperan sebagai penyusun protein, tetapi juga dapat digunakan sebagai sumber energi dan berhubungan erat dengan metabolisme karbohidrat serta lipid. Transaminasi dan deaminasi berperan dalam metabolisme nitrogen, sedangkan siklus urea mengubah amonia menjadi urea untuk diekskresikan. Sintesis dan degradasi protein berlangsung secara teratur untuk mempertahankan keseimbangan protein dalam tubuh. Gangguan pada jalur metabolisme tersebut dapat menyebabkan berbagai penyakit, seperti fenilketonuria, alkaptonuria, MSUD, penyakit Hartnup, defisiensi serin, dan sistinuria.



Dengan demikian, pemahaman mengenai metabolisme asam amino dan protein penting untuk menjelaskan pemeliharaan homeostasis serta dasar terjadinya berbagai gangguan metabolik..

Kata Kunci: Asam Amino, Metabolisme Protein, Siklus Urea

PENDAHULUAN

Protein merupakan makromolekul biologis yang paling melimpah di dalam sel hidup dan menjadi komponen utama penyusun jaringan tubuh. Secara kimia, protein tersusun atas polimer asam amino yang dihubungkan oleh ikatan peptida, dengan unsur penyusun utama berupa karbon, hidrogen, oksigen, dan nitrogen. Selain berfungsi sebagai penyusun struktur sel, protein juga berperan sebagai enzim, hormon, antibodi, protein transpor, serta molekul pengatur berbagai reaksi biokimia di dalam tubuh. Meutia Atika Faradilla menjelaskan bahwa sekitar 36–50% berat kering sel tersusun oleh protein sehingga keberadaannya sangat menentukan fungsi fisiologis setiap organ (Faradilla, 2024). Pernyataan tersebut sejalan dengan Baharuddin (2023) yang menyebutkan bahwa protein bukan hanya berfungsi sebagai zat pembangun, tetapi juga berperan dalam mempertahankan keseimbangan metabolisme, sistem imun, dan regenerasi jaringan tubuh.

Asam amino merupakan unit dasar penyusun protein yang memiliki satu gugus amino ($-NH_2$), satu gugus karboksil ($-COOH$), atom hidrogen, dan gugus samping (R) yang menentukan karakteristik setiap asam amino. Berdasarkan kebutuhan tubuh, asam amino dibedakan menjadi asam amino esensial dan non-esensial. Asam amino esensial tidak dapat disintesis oleh tubuh sehingga harus diperoleh dari makanan, sedangkan asam amino non-esensial dapat dibentuk melalui berbagai jalur metabolisme. Menurut Putriningtyas dkk. (2023), kelengkapan asam amino esensial menjadi faktor utama yang menentukan kualitas biologis suatu protein karena berhubungan langsung dengan kemampuan tubuh membentuk protein baru. Di sisi lain, Besung dkk. (2019) menjelaskan bahwa setiap sumber protein memiliki komposisi asam amino yang berbeda, sehingga variasi sumber pangan sangat memengaruhi nilai gizi dan efisiensi sintesis protein di dalam tubuh.

Metabolisme protein merupakan proses dinamis yang mencakup pencernaan, penyerapan, sintesis, serta degradasi protein secara berkesinambungan. Protein yang dikonsumsi tidak langsung dimanfaatkan oleh tubuh, melainkan terlebih dahulu dihidrolisis menjadi peptida dan asam amino oleh enzim pencernaan seperti pepsin, tripsin, dan kimotripsin. Asam amino hasil pencernaan kemudian diserap di usus halus, diedarkan melalui vena porta menuju hati, dan didistribusikan ke berbagai jaringan untuk sintesis protein maupun kebutuhan metabolisme lainnya. Menurut Irianto (2021), tubuh tidak memiliki tempat penyimpanan khusus untuk asam amino, sehingga kelebihan asam amino akan segera dimetabolisme menjadi energi atau senyawa lain yang dibutuhkan. Pendapat tersebut diperkuat oleh Faradilla (2024) yang menyatakan bahwa keseimbangan antara sintesis dan degradasi protein atau protein turnover merupakan mekanisme penting dalam mempertahankan homeostasis sel dan memperbaiki protein yang telah mengalami kerusakan.

Salah satu tahapan utama dalam metabolisme asam amino adalah reaksi transaminasi, yaitu proses pemindahan gugus amino dari suatu asam amino kepada senyawa α -keto sehingga menghasilkan asam amino baru dan α -keto asam. Reaksi ini dikatalisis oleh enzim alanin aminotransferase (ALT) dan aspartat aminotransferase (AST) dengan bantuan koenzim piridoksal fosfat (vitamin B₆). Candrayani dkk. (2022) menjelaskan bahwa kedua enzim tersebut berperan sebagai pusat distribusi nitrogen dalam tubuh sekaligus menjadi biomarker klinis yang sering



digunakan untuk mengevaluasi kerusakan sel hati. Sementara itu, Marshall dkk. (2020) menyatakan bahwa sifat transaminasi yang reversibel memungkinkan tubuh menyesuaikan pembentukan maupun pemecahan asam amino sesuai kebutuhan metabolisme dan ketersediaan nutrisi.

Setelah gugus amino dipindahkan melalui transaminasi, glutamat akan mengalami deaminasi oksidatif sehingga menghasilkan amonia bebas (NH_3). Amonia merupakan senyawa yang sangat toksik, terutama terhadap sistem saraf pusat, sehingga tubuh harus segera mengubahnya menjadi bentuk yang lebih aman. Menurut Baharuddin (2023), hati merupakan organ utama yang bertanggung jawab mengubah amonia menjadi urea melalui siklus urea sebelum akhirnya diekskresikan oleh ginjal. Hal tersebut didukung oleh Wityadarda dkk. (2025) yang melaporkan bahwa gangguan metabolisme nitrogen pada penyakit hati menyebabkan peningkatan kadar amonia darah dan berkontribusi terhadap munculnya ensefalopati hepatic. Dengan demikian, deaminasi dan siklus urea merupakan dua mekanisme yang tidak dapat dipisahkan dalam menjaga keseimbangan nitrogen tubuh.

Selain menghasilkan energi, metabolisme asam amino juga memiliki hubungan yang sangat erat dengan metabolisme karbohidrat dan lipid. Rangka karbon yang tersisa setelah pelepasan gugus amino dapat dikonversi menjadi piruvat, asetil-KoA, oksaloasetat, maupun intermediat lain dalam siklus asam sitrat. Senyawa-senyawa tersebut selanjutnya digunakan untuk menghasilkan ATP, membentuk glukosa melalui glukoneogenesis, ataupun disimpan sebagai asam lemak ketika kebutuhan energi telah terpenuhi. Menurut Adawyah dkk. (2020), keberagaman komposisi asam amino pada bahan pangan memengaruhi kualitas protein dan pemanfaatannya dalam metabolisme. Sementara itu, Putriningtyas dkk. (2023) menegaskan bahwa kecukupan asam amino esensial mampu mengoptimalkan sintesis protein melalui aktivasi jalur mTOR yang berperan penting dalam pertumbuhan dan perbaikan jaringan.

Regulasi metabolisme protein menjadi sangat penting karena ketidakseimbangan antara sintesis dan degradasi dapat menimbulkan berbagai gangguan kesehatan. Pada kondisi puasa, infeksi, trauma, maupun penyakit kronis, tubuh akan meningkatkan katabolisme protein untuk memenuhi kebutuhan energi sehingga massa otot dapat berkurang secara bertahap. Sebaliknya, ketersediaan asam amino yang cukup akan merangsang sintesis protein dan mempercepat proses regenerasi jaringan. Menurut Afra dan Rusdiana (2021), pengaturan asupan protein dan suplementasi asam amino esensial terbukti memberikan manfaat terhadap perbaikan metabolisme pada pasien penyakit ginjal kronis. Temuan tersebut menunjukkan bahwa pemahaman mengenai metabolisme asam amino tidak hanya penting dalam bidang biokimia, tetapi juga menjadi dasar dalam pengembangan terapi nutrisi pada berbagai penyakit metabolik.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode literature review dengan pendekatan studi kepustakaan, yaitu metode penelitian yang dilakukan dengan mengumpulkan, menelaah, dan menganalisis berbagai sumber data sekunder berupa jurnal-jurnal ilmiah terdahulu, buku referensi, prosiding, dan artikel ilmiah terpercaya lainnya yang relevan dengan topik pembahasan. Sumber literatur diperoleh melalui pencarian sistematis pada beberapa database ilmiah elektronik seperti Google Scholar, Garuda, SINTA, ScienceDirect, dan ResearchGate dengan menggunakan kata kunci yang sesuai dengan topik penelitian. Literatur yang telah diperoleh kemudian diseleksi berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi, seperti tahun terbit 5-10 tahun terakhir, relevansi dengan topik, ketersediaan



full-text, dan kejelasan metodologi, untuk selanjutnya dilakukan analisis deskriptif komparatif guna memperoleh informasi yang komprehensif serta menarik kesimpulan yang sesuai dengan tujuan kajian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Metabolisme Protein

Menurut Putri dkk. (2025), metabolisme protein adalah proses penting dalam tubuh manusia yang mencakup pemecahan, penggunaan, dan ekskresi protein untuk mendukung fungsi seluler dan fisiologis. Dalam konteks keperawatan, pemahaman terhadap proses ini, seperti yang dijelaskan oleh Putri dkk. (2025), sangat penting untuk menangani pasien dengan gangguan nutrisi, penyakit hati, ginjal, atau metabolik. Metabolisme protein dimulai sejak protein dikonsumsi melalui makanan dan berakhir pada ekskresi produk limbah nitrogen.

Proses pencernaan dan absorpsi protein, dimana protein dari makanan dipecah oleh enzim protease seperti pepsin di lambung dan trypsin di usus halus menjadi peptida dan asam amino, merupakan tahap awal yang krusial (Putri dkk., 2025). Selanjutnya asam amino diserap melalui dinding usus dan masuk ke dalam aliran darah untuk digunakan oleh sel-sel tubuh.

Tahap selanjutnya menurut Putri dkk. (2025) adalah transaminasi dan deaminasi. Transaminasi adalah proses pemindahan gugus amino dari satu asam amino ke asam keto, membentuk asam amino baru, sedangkan deaminasi, sebagaimana dipaparkan Putri dkk. (2025) dalam kajiannya, adalah penghilangan gugus amino yang menghasilkan amonia (NH_3) yang kemudian dikonversi menjadi urea di hati dan diekskresikan melalui ginjal.

Sintesis protein, yang menurut Putri dkk. (2025) terjadi di ribosom dan dikendalikan oleh kode genetik dalam DNA, adalah proses dimana asam amino digunakan untuk membentuk protein tubuh seperti enzim, hormon, dan struktur sel. Jika asam amino tidak digunakan untuk sintesis, mereka dapat dikatabolisme untuk menghasilkan energi, terutama saat tubuh kekurangan glukosa atau lemak, seperti yang dijelaskan dalam Putri dkk. (2025). Proses ini menghasilkan produk sampingan seperti urea, karbon dioksida, dan air.

Dalam aspek kesehatan dan keperawatan, Putri dkk. (2025) menjelaskan bahwa protein sangat penting dalam penyembuhan luka, regenerasi jaringan, dan respons imun. Perawat, berdasarkan Putri dkk. (2025), perlu memantau status protein pasien terutama pada pasien dengan luka bakar, malnutrisi, penyakit hati, atau gagal ginjal melalui pemeriksaan kadar albumin dan nitrogen urin.

Gangguan metabolisme protein menurut Putri dkk. (2025) meliputi Fenilketonuria (PKU) yaitu kelainan genetik yang menyebabkan ketidakmampuan memetabolisme fenilalanin, Hiperammonemia akibat gangguan deaminasi, serta Kwashiorkor dan Marasmus sebagai bentuk malnutrisi berat akibat defisiensi protein (Putri dkk., 2025).

Siklus Urea dan Metabolisme Nitrogen

Menurut Purba (2026), metabolisme nitrogen berkaitan erat dengan metabolisme urea sebagai salah satu bentuk utama ekskresi nitrogen pada manusia. Dalam siklus urea, nitrogen yang berasal dari metabolisme asam amino, sebagaimana dijelaskan Purba (2026), diubah menjadi urea



melalui serangkaian reaksi yang berlangsung terutama di hati. Urea kemudian dikeluarkan melalui urin (Purba, 2026).

Berbeda dengan proses tersebut, *Ureaplasma parvum* memanfaatkan urea sebagai sumber energi melalui aktivitas enzim urease. Enzim urease menurut Purba (2026) menghidrolisis urea dengan menghasilkan amonia atau ion amonium (NH_4^+) serta bikarbonat (HCO_3^-). Reaksi tersebut dapat dituliskan sebagai $\text{urea} + 2\text{H}_2\text{O} + \text{H}^+ \rightarrow 2\text{NH}_4^+ + \text{HCO}_3^-$.

Aktivitas urease memiliki peranan penting dalam metabolisme *U. parvum* karena produk hidrolisis urea dapat mendukung pembentukan gradien ion yang dimanfaatkan untuk menghasilkan energi dalam bentuk ATP (Purba, 2026). Dengan demikian, berdasarkan penjelasan Purba (2026), urea yang pada manusia merupakan produk akhir dari pembuangan nitrogen justru menjadi substrat metabolik bagi *U. parvum*.

Proses ini menunjukkan adanya hubungan antara metabolisme nitrogen dengan aktivitas urease, sekaligus menjelaskan pentingnya urease bagi pertumbuhan dan keberlangsungan hidup *U. parvum*. Berdasarkan analisis struktur secara *_in silico_*, Purba (2026) menjelaskan bahwa aktivitas urease berkaitan dengan pusat aktif yang mengandung ion nikel serta residu-residu katalitik yang berperan dalam pengikatan dan hidrolisis urea.

Sintesis Protein

Menurut Az Azahra dkk. (2025), asam nukleat terutama DNA dan RNA memiliki peran fundamental dalam regulasi genetika dan proses sintesis protein pada sel. Proses sintesis protein adalah suatu rangkaian reaksi biokimia yang melibatkan DNA, RNA, dan ribosom untuk menghasilkan protein yang diperlukan oleh organisme. Protein sendiri, sebagaimana dijelaskan Az Azahra dkk. (2025), berfungsi sebagai enzim, struktur sel, hormon, dan molekul lainnya yang mendukung kehidupan organisme (Az Azahra dkk., 2025).

1. DNA: Peta Genetik dan Instruksi Sintesis Protein

DNA (Deoxyribonucleic Acid) menurut Az Azahra dkk. (2025) adalah molekul asam nukleat yang berfungsi sebagai penyimpan informasi genetik dalam sel. Informasi genetik yang terkandung dalam DNA mengontrol semua aktivitas sel, termasuk proses sintesis protein. DNA terdiri dari dua untai polinukleotida yang terikat bersama membentuk struktur heliks ganda, dengan setiap nukleotida mengandung gula deoksiribosa, fosfat, dan basa nitrogen (adenin, timin, sitosin, dan guanin) (Az Azahra dkk., 2025). Selama sintesis protein, DNA berperan sebagai cetakan yang menyediakan instruksi yang tepat untuk menghasilkan urutan asam amino. Proses ini dimulai dengan transkripsi, dimana menurut Az Azahra dkk. (2025) informasi genetik dalam bentuk urutan basa DNA diterjemahkan menjadi RNA messenger (mRNA).

2. RNA: Perantara dalam Proses Sintesis Protein

Az Azahra dkk. (2025) menjelaskan bahwa RNA (Ribonucleic Acid) berfungsi sebagai perantara antara informasi genetik yang ada di DNA dan sintesis protein di ribosom. Ada tiga jenis RNA yang terlibat, yaitu mRNA sebagai salinan hasil transkripsi DNA yang membawa informasi dari inti sel ke ribosom, tRNA yang menurut Az Azahra dkk. (2025) bertanggung jawab membawa asam amino yang sesuai ke ribosom sesuai kode pada mRNA, dan rRNA yang



merupakan komponen utama ribosom sebagai tempat perakitan asam amino menjadi protein (Az Azahra dkk., 2025).

3. Proses Sintesis Protein: Transkripsi dan Translasi

Proses sintesis protein terbagi menjadi dua tahap utama, yaitu transkripsi dan translasi. Pada tahap transkripsi, menurut Az Azahra dkk. (2025), enzim RNA polimerase mengikat pada promotor dan membuka heliks ganda DNA untuk menambahkan nukleotida RNA yang komplementer. Hasil transkripsi adalah mRNA yang membawa informasi genetik untuk dibawa ke ribosom. Selanjutnya pada tahap translasi, mRNA yang telah keluar dari inti sel akan bergabung dengan ribosom, dan tRNA membawa asam amino sesuai dengan kodon pada mRNA hingga mencapai kodon stop, sebagaimana dipaparkan Az Azahra dkk (2025).

4. Ribosom: Mesin Sintesis Protein

Ribosom adalah organel seluler yang terdiri dari dua subunit yang mengandung rRNA dan protein (Az Azahra dkk., 2025). Menurut Az Azahra dkk. (2025), ribosom berperan sebagai tempat terjadinya translasi dengan cara membaca mRNA dan menghubungkan asam amino sesuai urutan kodon untuk menghasilkan polipeptida yang akan dilipat menjadi protein fungsional. Subunit kecil ribosom berfungsi untuk mengikat mRNA, sedangkan subunit besar memiliki situs untuk tRNA dan katalisis pembentukan ikatan peptida.

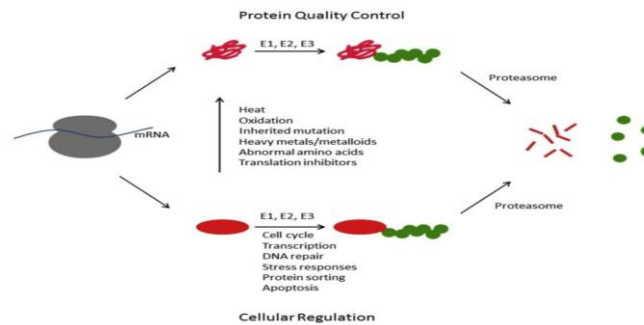
5. Regulasi Genetik dalam Sintesis Protein

Proses sintesis protein juga diatur secara ketat oleh berbagai mekanisme regulasi genetik yang memastikan ekspresi gen yang tepat (Az Azahra dkk., 2025). Az Azahra dkk. (2025) menjelaskan bahwa regulasi ini terjadi pada beberapa tingkat, yaitu regulasi transkripsi yang dipengaruhi oleh faktor transkripsi, enhancer, dan silencer; regulasi pasca-transkripsi melalui modifikasi splicing; regulasi translasi yang melibatkan faktor inisiasi dan miRNA; serta modifikasi pasca-terjemahan seperti fosforilasi atau glikosilasi yang mengatur aktivitas protein.

Asam nukleat memegang peranan vital dalam proses sintesis protein yang kompleks dan terkoordinasi, dimana menurut Az Azahra dkk. (2025) ketidakseimbangan atau gangguan dalam sintesis protein dapat berakibat pada berbagai penyakit, termasuk kanker dan gangguan genetik lainnya.

Degradasi protein

Degradasi protein merupakan mekanisme penting dalam pengaturan jumlah protein di dalam sel dan berlangsung secara seimbang dengan proses sintesis protein. Salah satu mekanisme utama degradasi protein adalah sistem ubiquitin-proteasom (ubiquitin-proteasome system/UPS). Dalam sistem ini, protein yang akan mengalami degradasi terlebih dahulu diberi penanda berupa ubiquitin. Penandaan tersebut mengarahkan protein menuju proteasom, yaitu kompleks protease multisubunit yang mengenali dan membuka struktur protein sebelum menghancurkannya. UPS berperan dalam mengatur jumlah protein yang memiliki fungsi penting dalam berbagai proses seluler. Selain itu, sistem ini juga berfungsi dalam pengendalian kualitas protein dengan mengenali dan menghancurkan protein yang mengalami kesalahan pelipatan (misfolded proteins), karena akumulasi protein tersebut dapat bersifat toksik bagi sel (Hanna et al., 2019).



Gambar 1. Protein Quality control

Gambar 1. Gambaran Umum Sistem Ubiquitin-Proteasom untuk Degradasi Protein. Banyak protein mengalami kesalahan pelipatan (*misfolding*) baik selama maupun segera setelah sintesis protein (jalur atas). Protein-protein tersebut (berwarna merah) dikenali oleh serangkaian enzim ubiquitinasi yang dikenal sebagai E1, E2, dan E3 yang secara kovalen menempelkan protein kecil ubiquitin (berwarna hijau) pada protein yang mengalami kesalahan pelipatan.

Sinyal ubiquitin ini memungkinkan protein dikenali oleh proteasom. Proteasom kemudian mengikat substrat yang telah terubiquitinasi, membuka lipatan protein tersebut, melepaskan molekul ubiquitinnya, dan memasukkan protein ke dalam inti pusat proteasom, di mana protein didegradasi menjadi polipeptida-polipeptida kecil.

Protein yang terlipat dengan benar juga dapat mengalami degradasi (jalur bawah). Dalam hal ini, dengan mengontrol kelimpahan protein regulator kunci, sistem ubiquitin-proteasom berperan dalam hampir setiap aspek biologi sel. Beberapa contoh yang telah dipahami dengan baik tercantum di sini. Selain itu, protein apa pun yang terlipat dengan benar dapat berubah menjadi protein dengan kesalahan pelipatan kapan saja akibat paparan terhadap berbagai faktor stres penyebab kesalahan pelipatan protein, yang hanya sebagian kecil di antaranya tercantum di sini.

Protein ini juga sangat stabil, mempertahankan struktur lipatannya pada suhu hingga 85°C dan di seluruh spektrum pH 1 hingga 13,1. Ubiquitin selalu diakhiri dengan motif diglisin (GG), yang sangat penting untuk kemampuannya mengikat protein target. Glisin C-terminal ubiquitin dihubungkan ke gugus ϵ -amino dari residu lisin dalam protein penerima melalui ikatan isopeptida.

Reaksi ini, yang disebut ubiquitinasi, dimediasi oleh keluarga protein yang dikenal sebagai enzim ubiquitinasi. Enzim pertama yang dikenal sebagai E1 mengaktifkan ubiquitin untuk transfer dengan menggunakan ATP untuk menghasilkan ikatan tioester antara dirinya dan ubiquitin. Ubiquitin yang telah diaktifkan ini kemudian ditransfer ke enzim kedua, yaitu E2.

Dalam banyak kasus, enzim E2 secara langsung mentransfer ubiquitin ke protein target dengan bantuan protein ketiga, yaitu E3. Dalam kasus lain, ubiquitin ditransfer dari E2 ke E3, dan E3 bertanggung jawab untuk konjugasi ke protein target.

Regulasi Metabolisme

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. Katabolisme berperan dalam menghasilkan energi melalui pemecahan protein, sedangkan anabolisme merupakan proses penyusunan molekul sederhana menjadi makromolekul kompleks yang dibutuhkan tubuh. Sebagian besar proses metabolisme energi berlangsung melalui siklus Krebs untuk menghasilkan ATP sebagai sumber energi utama sel (Khairani dkk.,2026).

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 (Henggu et al.,2021).

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 (Khairani dkk.,2026)

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 (Torres et al.,2023).

Gangguan Metabolisme Asam Amino

Menurut Shakerdi dkk. (2025), asam amino terutama berfungsi sebagai blok pembangun dasar protein. Beberapa di antaranya juga memainkan peran penting dalam fungsi tubuh vital atau bertindak sebagai prekursor untuk senyawa yang mengandung nitrogen penting termasuk neurotransmitter, hormon, nukleotida, dan pigmen. Manusia menggunakan 21 asam amino yang berbeda, sebagian besar dapat diproduksi secara internal, tetapi 9 di antaranya bersifat esensial yaitu isoleusin, leusin, lisin, metionin, fenilalanin (Phe), treonin, triptofan, valin, dan histidin dalam arti harus dikonsumsi melalui makanan, sebagaimana dijelaskan Shakerdi dkk. (2025).

Istilah kelainan metabolisme asam amino bawaan (IEAAM) menurut Shakerdi dkk. (2025) merujuk pada berbagai macam gangguan metabolisme, termasuk yang disebabkan oleh defisiensi enzim dalam jalur katabolisme satu atau lebih asam amino atau, lebih jarang, oleh defisiensi kofaktor atau transporter. Hal ini dapat mengakibatkan akumulasi toksik asam amino tertentu atau zat perantara kataboliknya, serta defisiensi produk metabolisme utama (Shakerdi dkk., 2025).



Gangguan Utama Metabolisme Asam Amino: Gambaran Klinis dan Pendekatan Terapi

1. Fenilketonuria (PKU)

PKU merupakan gangguan genetik autosomal resesif akibat kekurangan atau tidak adanya enzim fenilalanin hidroksilase (PAH) yang berfungsi mengubah fenilalanin menjadi tirosin (Shakerdi dkk., 2025). Menurut Shakerdi dkk. (2025), akibatnya Phe menumpuk dalam darah dan otak serta diubah menjadi asam fenilpiruvat dan fenilaktat yang dikeluarkan melalui urin. Jika tidak ditangani, PKU dapat menyebabkan gangguan intelektual, gangguan motorik, kejang, dan eksim. Diagnosis dilakukan melalui skrining darah bayi baru lahir dan pemeriksaan gen PAH, dengan penanganan utama berupa pembatasan asupan protein alami terutama Phe.

2. Alkaptonuria (AKU)

Menurut Shakerdi dkk. (2025), alkaptonuria (AKU) merupakan penyakit genetik autosomal resesif akibat mutasi gen HGD yang menyebabkan kekurangan enzim homogentisic acid oxidase. Akibatnya, asam homogentisat (HGA) menumpuk dan teroksidasi menjadi senyawa yang membentuk polimer mirip melanin. Polimer tersebut menumpuk pada kolagen dan menyebabkan okronosis. Ciri khas AKU adalah urin yang menggelap setelah didiamkan, sedangkan komplikasinya dapat berupa pigmentasi sklera dan telinga, gangguan sendi, batu ginjal/prostat, batu empedu, serta gangguan katup jantung. Penanganan dapat berupa pembatasan protein secara moderat, pemberian asam askorbat, dan obat nitisinone (NTBC) yang menurunkan kadar HGA (Shakerdi dkk., 2025).

3. Penyakit Urine Sirup Maple (MSUD)

MSUD adalah penyakit metabolik yang diwariskan secara autosomal resesif akibat mutasi pada gen BCKDHA, BCKDHB, atau DBT, sehingga menyebabkan kekurangan kompleks enzim branched-chain ketoacid dehydrogenase (BCKD) (Shakerdi dkk., 2025). Menurut Shakerdi dkk. (2025), akibatnya metabolisme asam amino rantai ber cabang (BCAA) terganggu dan terjadi peningkatan terutama leusin dalam tubuh. Gejala akut dapat berupa nafsu makan buruk, muntah, mudah tersinggung, lesu, gangguan gerak, kejang, ataksia, hingga koma. Penanganan utama adalah membatasi BCAA melalui diet rendah protein alami dan penggunaan formula khusus. Pada krisis akut, tujuan terapi adalah menurunkan kadar BCAA/leusin dan menghentikan katabolisme, melalui penghentian sementara protein alami, pemberian formula bebas BCAA, serta tambahan kalori dari karbohidrat dan lemak. Pada kondisi berat dapat dilakukan hemofiltrasi atau hemodialisis (Shakerdi dkk., 2025).

4. Penyakit Hurler

Penyakit Hurler menurut Shakerdi dkk. (2025) merupakan kelainan genetik autosomal resesif yang disebabkan oleh varian patogenik pada gen SLC6A19, sehingga mengganggu fungsi transporter asam amino netral B0AT1 pada tubulus proksimal ginjal dan saluran pencernaan. Akibatnya, transportasi asam amino netral terganggu dan terjadi hiperaminoasiduria. Gejalanya dapat berupa ruam kulit seperti pellagra, ataksia, spastisitas, keterlambatan perkembangan motorik, hipotonia, dan gejala kejiwaan. Diagnosis dilakukan melalui deteksi hiperaminoasiduria dan dapat dikonfirmasi dengan analisis mutasi, dengan penanganan meliputi diet tinggi protein dan suplementasi nikotinamida (Shakerdi dkk., 2025).



5. Defisiensi Serin

Defisiensi serin paling sering disebabkan oleh kekurangan enzim 3-fosfoglisarat dehidrogenase (3-PGDH) yang berperan dalam tahap pertama biosintesis serin (Shakerdi dkk., 2025). Penyebab yang lebih jarang menurut Shakerdi dkk. (2025) adalah defisiensi fosfoserin aminotransferase (PSAT) pada tahap kedua. Gejala dapat berupa kejang, mikrosefali, hipertonia, dan keterlambatan perkembangan. Pada bayi dengan defisiensi PSAT1, suplementasi yang disarankan adalah serin 500 mg/kg/hari dan glisin 200 mg/kg/hari.

6. Sistinuria

Sistinuria merupakan kelainan genetik autosomal resesif yang disebabkan oleh varian patogenik pada gen SLC3A1 atau SLC7A9 (Shakerdi dkk., 2025). Kelainan ini, sebagaimana dijelaskan Shakerdi dkk. (2025), mengganggu penyerapan asam amino dibasa yaitu sistin, lisin, arginin, dan ornitin pada tubulus proksimal dan saluran usus. Ciri utama penyakit ini adalah nefrolitiasis berulang. Penanganan bertujuan mencegah pembentukan dan pertumbuhan batu melalui peningkatan asupan cairan, diet protein sedang, alkalisasi urin, serta obat pengikat sistin seperti tiopronin dan D-penisilamin. Karena sebagian besar pasien dapat mengalami batu sistin atau penyakit ginjal kronis, pemantauan oleh dokter nefrologi dan urologi diperlukan (Shakerdi dkk., 2025).

KESIMPULAN

Metabolisme asam amino dan protein merupakan proses yang saling berkaitan dalam mempertahankan keseimbangan dan fungsi fisiologis tubuh. Asam amino yang diperoleh dari pemecahan protein dapat digunakan untuk sintesis protein, pembentukan berbagai senyawa penting, maupun sebagai sumber energi ketika diperlukan. Proses transaminasi dan deaminasi berperan dalam pemindahan dan pelepasan gugus amino, sedangkan nitrogen hasil metabolisme tersebut selanjutnya dikelola melalui siklus urea di hati sebelum diekskresikan melalui ginjal. Keseimbangan antara sintesis dan degradasi protein juga diperlukan untuk mempertahankan jumlah serta kualitas protein di dalam sel, termasuk melalui sistem ubiquitin-proteasom dalam proses degradasi protein.

Kajian ini juga menunjukkan bahwa metabolisme asam amino memiliki keterkaitan dengan metabolisme karbohidrat dan lipid melalui berbagai intermediat metabolik yang dapat digunakan untuk menghasilkan energi maupun membentuk senyawa lain. Regulasi metabolisme yang tepat diperlukan agar kebutuhan energi, sintesis protein, dan keseimbangan nitrogen tetap terjaga. Gangguan pada enzim, transporter, atau jalur metabolisme asam amino dapat menyebabkan berbagai kelainan, seperti fenilketonuria, alkaptonuria, penyakit urine sirup maple, penyakit Hartnup, defisiensi serin, dan sistinuria. Oleh karena itu, pemahaman mengenai jalur dan regulasi metabolisme asam amino serta protein menjadi dasar penting dalam memahami fungsi tubuh, gangguan metabolik, dan pendekatan penanganannya.

DAFTAR PUSTAKA

Az Azahra, A. P., Listanto, P., Ramadhani, K. N., Indriansyah, T. A. G., Khairunnisa, L. A., & Arini, L. D. D. (2025). Peran asam nukleat dalam proses sintesis protein: Analisis mekanisme DNA, RNA, dan ribosom dalam regulasi genetik. *Student Scientific Creativity Journal*, 3(2), 15–24.



- Baharuddin. (2023). Biokimia. Makassar, Indonesia: CV. Tohar Media.
- Candrayani, P. P., Utama, I. H., & Suharsono, H. (2022). Kadar aspartat aminotransferase dan alanin aminotransferase ayam pedaging yang diberi penambahan asam organik dalam pakan. *Indonesia Medicus Veterinus*, 11(2), 178–187.
- Faradilla, M. A. (2024). Metabolisme protein dan asam amino. Jakarta, Indonesia: Fakultas Kedokteran Universitas Trisakti.
- Hanna, J., Guerra-Moreno, A., Ang, J., & Micoogullari, Y. (2019). Protein Degradation and the Pathologic Basis of Disease. *The American Journal of Pathology*, 189(1), 94-103.
- 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.
- Khairani, M., Nahombang, P. K., Maulida, S., & Pratama, F. (2026). Proses metabolisme dalam tubuh dan proses regulasi cairan dalam tubuh. *Jurnal Cakrawala Pendidikan dan Biologi*, 3(2), 42–50.
- Irianto, K. (2021). Biokimia gizi. Bandung, Indonesia: Yrama Widya.
- Khairani, M., Nahombang, P. K., Maulida, S., & Pratama, F. (2026). Proses metabolisme dalam tubuh dan proses regulasi cairan dalam tubuh. *Jurnal Cakrawala Pendidikan dan Biologi*, 3(2), 42–50.
- Purba, J. P. (2026). Analisis in silico enzim urease *Ureaplasma parvum* berbasis PyMOL: Pusat aktif, residu katalitik, segmen penutup fleksibel, dan mekanisme hidrolisis urea. *Integrative Perspectives of Social and Science Journal*, 3(5), 2859–2876.
- Putri, E. Y., Tenoyo, E. T., Al Mumtazzah, F. F., Wahidah, F. N., Panggalih, H. B., Roiska, J. A., & Arini, L. D. D. (2025). Konsep dasar metabolisme tubuh, metabolisme karbohidrat, protein, lemak, mineral elektrolit, dan vitamin. *Jejak Digital: Jurnal Ilmiah Multidisiplin*, 1(6), 4388–4397.
- Putriningtyas, N. D., Nurkolis, F., & Kurniawati, D. (2023). Peran asam amino esensial terhadap sintesis protein dan status gizi. *Nutri-Sains: Jurnal Gizi, Pangan dan Aplikasinya*, 7(2), 95–106.
- Shakerdi, A. L., Nerney, D., Molloy, E. J., & Knerr, I. (2025). Inborn errors of amino acid metabolism revisited: Clinical implications and insights into current therapies. *Journal of Clinical Medicine*, 14, 8749.
- Torres, N., Tobón-Cornejo, S., Velazquez-Villegas, L. A., Noriega, L. G., AlemánEscondrillas, G., & Tovar, A. R. (2023). Amino Acid Catabolism: An Overlooked Area of Metabolism. *Nutrients*, 15, 3378.
- Wityadarda, C., Fitriani, R., & Safrida, S. (2025). Asam amino rantai cabang terhadap status gizi dan perubahan metabolik pada penyakit hati. *SAGO Gizi dan Kesehatan*, 6(1), 35-44.