

SUPLEMENTASI ASAM AMINO DAN PERFORMA OLAHRAGA

Amino Acids Supplementation and Exercise Performance

Kurnia Mar'atus Solichah, S.Gz, M.Gz

Program Studi Gizi, Fakultas Ilmu Kesehatan, Universitas 'Aisyiyah Yogyakarta

e-mail: kurniamaratus@unisayogya.ac.id

ABSTRACT

Supplementation is one of the methods to optimize the intake of nutritional needs, especially with more specific goals. Amino acid supplementation is becoming popular among athletes and sports enthusiasts. Consumption of amino acid supplementation by these groups has several purposes, including preventing deficiency, improving muscle function, and preventing muscle damage – which in turn can optimize performance during exercise. Looking at the role in body metabolism, amino acid anabolism can form various components such as hormones, enzymes, neuromodulators, and structural functions such as skeletal muscle that are related to sports performance. Amino acid catabolism is also known to form a substrate for gluconeogenesis that allows use during exercise. Based on this, is it true that amino acid supplementation can have a positive effect on exercise performance? It turns out that there are still several contradictory studies related to the effects of amino acid supplementation. Among the many amino acids, a meta-analysis review demonstrated positive effects for branched chain amino acids (BCAAs), β -alanine, and arginine on exercise performance. More studies are needed, both experimental and meta-analytical reviews to prove how other amino acids play a role in sports performance.

Keywords: amino acid, performance, exercise, athlete

ABSTRAK

Suplementasi menjadi salah satu metode untuk mengoptimalkan intake dari kebutuhan zat gizi, terutama dengan tujuan yang lebih khusus. Suplementasi asam amino menjadi populer di kalangan atlet maupun penggiat olahraga. Konsumsi suplementasi asam amino oleh golongan tersebut memiliki beberapa tujuan, antara lain mencegah defisiensi, meningkatkan fungsi otot, dan mencegah kerusakan otot – yang pada akhirnya dapat mengoptimalkan performa saat berolahraga. Apabila melihat peran dalam metabolisme tubuh, anabolisme asam amino dapat membentuk berbagai macam komponen seperti hormon, enzim, neuromodulator, dan fungsi struktural seperti otot skelet yang berhubungan dengan performa olahraga. Katabolisme asam amino juga diketahui dapat membentuk substrat untuk glukoneogenesis yang memungkinkan digunakan saat berolahraga. Berdasarkan hal tersebut, apakah benar suplementasi asam amino dapat memberikan efek positif dalam performa berolahraga? Ternyata masih terdapat beberapa riset yang saling bertolak belakang terkait efek suplementasi asam amino. Diantara sekian banyak asam amino, review meta analisis menunjukkan efek positif untuk *branched chain amino acids* (BCAA), β -alanin, dan arginin pada performa olahraga. Masih diperlukan lebih banyak studi, baik itu eksperimental maupun review meta analisis untuk membuktikan bagaimana peran asam amino lainnya terhadap performa olahraga.

Kata kunci: asam amino, performa, olahraga, atlet

PENDAHULUAN

Mencukupi kebutuhan gizi bagi atlet menjadi hal yang penting untuk mengoptimalkan performa saat latihan maupun pertandingan.¹ Kebutuhan gizi atlet sangat individual dan dipengaruhi oleh jenis, durasi, dan frekuensi latihan pada atlet.^{2,3} Total kebutuhan zat gizi menjadi lebih tinggi daripada kebutuhan pada populasi umum, karena terdapat tambahan energi untuk latihan. Berdasarkan hal tersebut, dikenal tahap pemberian makan pada atlet yang dapat dipenuhi dari makanan lengkap gizi seimbang, dan tambahan dari *sports food* serta suplementasi.^{2,3}

Food and Drug Administration (FDA) mendefinisikan suplemen sebagai suatu produk yang mengandung zat gizi dan dikonsumsi dengan tujuan untuk menambahkan intake asupan harian. Suplementasi dapat ditemui dalam bentuk tablet, kapsul, gel, cairan, maupun bubuk.⁴ Tidak terdapat definisi khusus untuk suplementasi olahraga, sehingga mengacu pada pengertian suplementasi secara umum yaitu produk yang mengandung zat gizi makro atau mikro maupun substrat spesifik untuk mengoptimalkan asupan harian.² Namun bagi atlet, konsumsi

suplemen selain untuk menunjang pemenuhan zat gizi harian, juga memiliki tujuan untuk mengoptimalkan performa.⁵ Pengoptimalan performa melalui suplementasi berkaitan dengan perbaikan sistem imun, mempercepat proses pemulihan, maupun mencegah terjadinya kelelahan saat bertanding.⁵ Terdapat berbagai macam jenis kandungan suplemen yang dikenal dalam dunia olahraga dan kandungan yang ada menyesuaikan dengan manfaat spesifik dari suplemen.⁶

Studi yang dilakukan oleh Huang et al menuliskan berbagai jenis suplemen yang dikonsumsi atlet saat kompetisi Olimpik di Atlanta dan Sydney.⁷ Hasil studi tersebut menunjukkan terdapat suplemen yang berisi vitamin (multivitamin, vitamin C, vitamin E, vitamin B), mineral (zat besi, kalsium, kalsium – magnesium), maupun yang berisi zat gizi lainnya (asam amino, kreatin, protein, glutamin, dll).⁷ Suplementasi asam amino menjadi jenis suplemen yang dikonsumsi paling tinggi saat Olimpik di Sydney.⁷ Suplementasi asam amino sangat populer digunakan di kalangan atlet, karena efek ergogenik dari konsumsi asam amino.⁶ Beberapa alasan atlet mengonsumsi suplementasi asam amino antara lain untuk meningkatkan performa olahraga, menjaga kesehatan, mempercepat pemulihan, dan memperbaiki bentuk fisik atlet.⁸

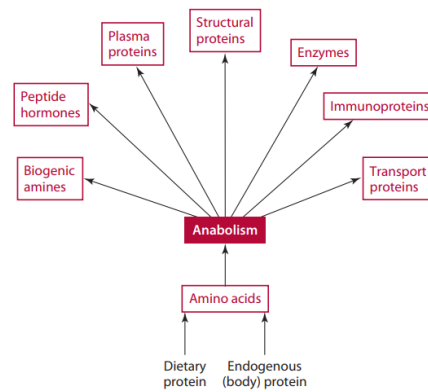
Terdapat berbagai macam jenis asam amino yang dapat ditemui secara esensial dan nonesensial.⁹ Tidak semua asam amino memberikan efek positif terhadap performa atlet. Tujuan dari review ini adalah memberikan analisis terhadap berbagai macam suplementasi asam amino yang diberikan pada atlet, dan juga memberikan rekomendasi suplementasi apa saja yang sudah terbukti secara ilmiah memberikan efek ergogenik pada atlet.

METABOLISME ASAM AMINO

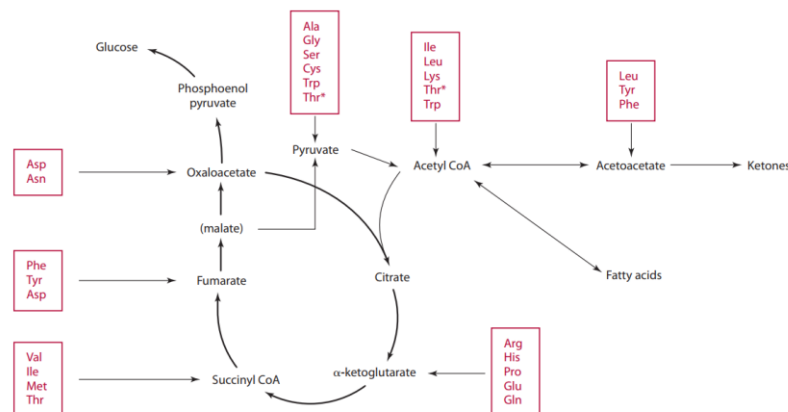
Asam amino merupakan struktur pembentuk dari protein. Secara struktur kimia, maka asam amino tersusun dari atom karbon (C), gugus amina (NH_2), gugus asam karboksilat (COOH), dan satu rantai lainnya (R) yang akan membedakan jenis asam amino. Klasifikasi asam amino dapat dibagi menjadi esensial dan non esensial. Asam amino esensial didapatkan dari makanan atau asupan harian, karena tidak dapat disintesis di dalam tubuh. Kategori asam amino esensial antara lain fenilalanin, valin, threonine, metionin, triptofan, histidine, isoleusin, leusin, dan lisin. Proses penyerapan asam amino dimulai saat makanan yang mengandung protein dikonsumsi, kemudian oleh tubuh akan dipecah dengan enzim pepsin yang akan memecah protein menjadi asam amino.⁹ Asam amino yang didapatkan dari suplementasi pada umumnya sudah dalam bentuk tunggalnya. Organ pencernaan tidak lagi memecah asam amino dari suplementasi, sehingga setelah dikonsumsi akan diserap oleh usus halus dan didistribusikan pada jaringan untuk metabolisme lebih lanjut.⁶

Asam amino yang didapatkan dari asupan maupun sintesis dari dalam tubuh akan digunakan oleh tubuh untuk anabolisme atau pembentukan senyawa lainnya. Gambar 1 menunjukkan beberapa senyawa yang didapatkan dari asam amino yaitu biogenik amina, hormon peptida, protein plasma, struktural protein, enzim, immunoprotein, dan protein untuk transport senyawa. Beberapa contoh anabolisme dari asam amino yaitu; (1) asam amino histidin menjadi prekursor untuk pembentukan histamin, senyawa bioamina yang terlibat dalam sistem kekebalan tubuh, (2) asam amino triptofan merupakan prekursor pembentuk hormone serotonin dan melatonin, (3) asam amino glutamin dan aspartate terlibat dalam pembentukan purin dan pirimidin, yaitu basa nitrogen yang ada dalam DNA dan RNA, (4) asam amino arginin prekursor pembentukan senyawa kreatin, dalam dunia olahraga kreatin merupakan substrat pembentuk energi terutama untuk olahraga yang bersifat anaerobik, (5) asam amino glutamat dalam pembentukan GABA (gamma-aminobutyric acid) yang berperan sebagai neurotransmitter pengatur kerja otak.

Katabolisme asam amino terjadi di berbagai jaringan saat tubuh dalam kondisi puasa maupun setelah makan. Hati menjadi jaringan yang paling dominan saat terjadi proses katabolisme asam amino. Saat kondisi setelah makan, jaringan hati mengambil 50 – 65% asam amino dari aliran darah untuk dikatabolisme, kecuali asam amino BCAA (branched chain amino acids). Katabolisme BCAA yang mayoritas terjadi di jaringan otot, sehingga khususnya untuk atlet BCAA menjadi substrat yang penting.⁹ Proses katabolisme dari asam amino mengalami 2 tahapan, yaitu proses transaminasi / deaminasi dan siklus urea. Transaminasi adalah proses untuk memindahkan gugus amina yang ada pada asam amino ke senyawa lain, sedangkan deaminasi adalah pelepasan gugus amina yang ada pada rantai asam amino. Gugus amina yang dilepaskan kemudian akan memasuki siklus urea di dalam jaringan hati untuk dimetabolisme. Pada asam amino yang kehilangan gugus amina akan tersisa rantai karbon yang akan digunakan dalam metabolisme, seperti yang terlihat pada Gambar 2.



Gambar 1.
Anabolisme Asam Amino⁹



Gambar 2.
Katabolisme Asam Amino Pada Rantai Karbon⁹

Branched Chain Amino Acids (BCAA)

BCAA merupakan asam amino yang terdiri dari leusin, isoleusin, dan valin yang hamper 50 persen asam amino esensial yang ditemukan dalam makanan, serta 35 persen asam amino esensial yang ada di dalam protein otot.¹⁰ BCAA diketahui merupakan prekursor dari asam trikarboksilat pada siklus asam sitrat, dan juga terlibat pada produksi energi melalui oksidasi BCAA saat olahraga.¹¹ Selain itu BCAA juga memiliki efek positif pada sintesis protein, terutama protein pada jaringan otot karena mayoritas BCAA ditemukan di dalam jaringan otot.^{9,12}

Gambar 3 menunjukkan mekanisme bagaimana BCAA terlibat dalam sintesis protein.¹² Target dari persinyalan BCAA untuk sintesis protein terletak pada protein *mechanistic target of rapamycin complex 1* (mTORC1). Aktivasi mTORC1 dipengaruhi oleh banyak factor dan salah satunya oleh BCAA dan insulin. BCAA yang masuk ke dalam sel akan membuat serangkaian protein menjadi tidak aktif. Kemudian proses tersebut membuat protein *ras homolog enriched in brain* (RHEB) menjadi teraktivasi dan mempengaruhi keaktifan mTORC1. Protein mTORC1 yang aktif akan mengaktifkan proses translasi mRNA sehingga sintesis protein dapat berjalan. Apabila sintesis protein ini terjadi di dalam jaringan otot, maka proses pembentukan protein otot akan terus berlangsung dan akan memberikan manfaat positif saat atlet melakukan olahraga.

Penelitian terkait suplementasi BCAA pada atlet atau saat olahraga sudah banyak dilakukan. Howatson et al¹³ melakukan studi suplementasi BCAA dan efeknya pada proses pemulihan setelah olahraga tipe resisten. Dosis yang digunakan yaitu 10 g BCAA diberikan 2x sehari dengan rasio leusin : isoleusin : valin = 2 : 1 : 1. Hasilnya

yaitu nilai enzim kreatin kinase (CK) dan nyeri otot pada grup suplementasi BCAA lebih rendah daripada kelompok kontrol. Penelitian lainnya yang dilakukan oleh Song Gyu et al memberikan suplementasi BCAA 9,6 g/hari dengan olahraga eksentrik.¹⁴ Hasil yang didapatkan untuk indikator kerusakan otot seperti enzim laktat dehidrogenase (LDH), CK, dan aldolase lebih rendah daripada kelompok kontrol. Selain studi yang menunjukkan efek positif antara suplementasi BCAA dan olahraga, studi yang dilakukan oleh Foure et al menunjukkan hasil tidak terdapat perbedaan tingkat performa antara kelompok suplementasi BCAA dan kelompok kontrol.¹⁵

Masih ditemukan perbedaan antara hasil penelitian – penelitian terkait suplementasi BCAA dengan olahraga. Mann et al melakukan sistematik review untuk melihat efek suplementasi BCAA dengan indikator kerusakan otot saat olahraga.¹² Hasil dari sistematik review ini menunjukkan suplementasi BCAA memberikan efek pada olahraga – olahraga yang menyebabkan kerusakan otot pada intensitas rendah – sedang. Dosis suplementasi BCAA dalam dosis tinggi >200 mg/kg BB/hari dalam durasi waktu >10 hari dapat mencegah terjadinya kerusakan otot pada saat olahraga.

Beta Alanin

Beta alanin (β -ALA) adalah asam amino non esensial yang diproduksi di jaringan hati. Asam amino ini merupakan pembentuk dari senyawa anserin, asam pantotenat (vitamin B5), dan karnosin.⁶ Karnosin adalah protein yang ada di dalam jaringan otot yang memiliki fungsi untuk aktivitas antioksidan, efek antiglikasi, dan buffer untuk ion hidrogen. Manfaat karnosin sebagai buffer ion hidrogen penting untuk menjaga pH di dalam jaringan otot tetap normal, terutama saat melakukan olahraga dengan intensitas yang tinggi dan dalam waktu singkat.¹⁶

Suplementasi β -ALA akan mengalami proses penyerapan oleh usus halus dan sebelum dilepas di dalam aliran darah β -ALA akan berikatan dengan L-histidin (Gambar 4). Selanjutnya di dalam aliran darah karnosin yang juga bisa didapatkan dari asupan harian dipecah menjadi β -ALA dan L-histidin. Ikatan senyawa tersebut dialirkan oleh darah ke berbagai jaringan, termasuk di jaringan otot. Saat di dalam jaringan otot β -ALA dan L-histidin dipecah oleh enzim karnosin sintase sehingga menghasilkan senyawa karnosin. Kemudian senyawa karnosin ini yang akan bertindak sebagai buffer untuk ion hidrogen di dalam jaringan otot. Saat melakukan olahraga yang bersifat intensitas tinggi dan durasi singkat, maka ion hidrogen di dalam jaringan otot akan meningkat sebagai bentuk dari penyediaan energi dalam waktu singkat. Peran karnosin yang didapatkan dari suplementasi β -ALA menjaga pH di dalam jaringan otot tetap normal, sehingga metabolisme bisa berjalan dan tidak terganggu.

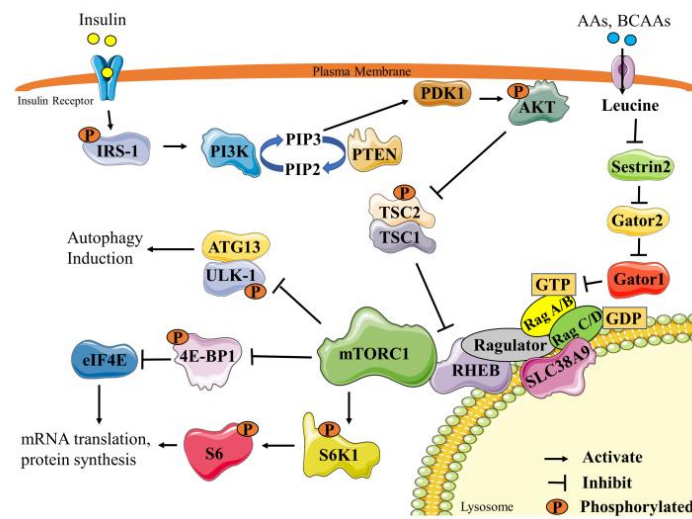
Studi yang dilakukan oleh Veranoske et al merangkum sebagian besar penelitian suplementasi β -ALA pada berbagai durasi olahraga.¹⁷ Dapat dilihat pada Gambar 5 bahwa durasi olahraga yang memiliki efek positif dengan suplementasi β -ALA merupakan olahraga dengan durasi waktu yang singkat (<25 menit). Olahraga dengan durasi waktu >25 menit dapat dikategorikan sebagai olahraga *endurance* dan penyediaan energi berlangsung secara aerobik, sehingga fungsi karnosin sebagai buffer tidak banyak memberikan pengaruh.

Arginin

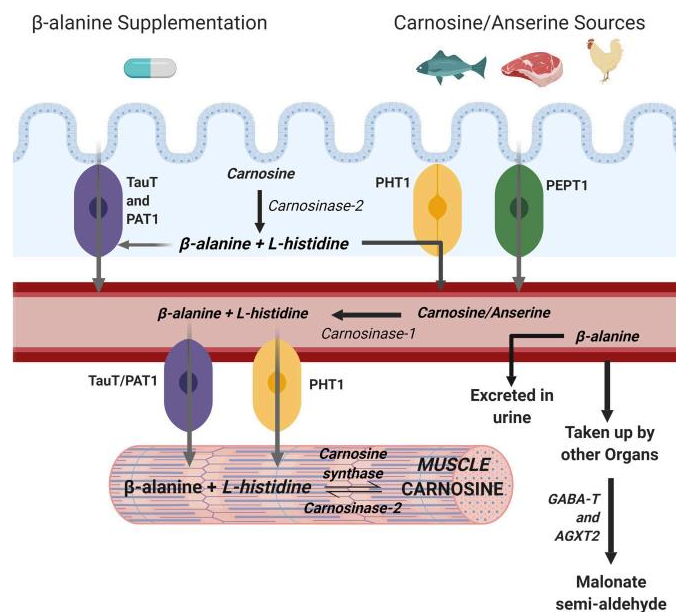
Arginin merupakan asam amino non esensial yang dapat disintesis di usus halus. Arginin memiliki bentuk struktur jenis asam amino alifatik, dan karena struktur tersebut menjadi metabolit antara dari berbagai jalur metabolisme seperti nitrit oksida (vasodilatasi dan persinyalan molekuler), glutamin, prolin (berkaitan dengan penyembuhan luka), poliamin (stabilitas DNA, regulasi gen, imunitas), kreatin (penyedia energi di otot). Berdasarkan beberapa aspek tersebut, banyak yang meyakini bahwa arginin dapat memberikan efek ergogenik yaitu senyawa metabolit antara pembentuk kreatin, meningkatkan sekresi hormone anabolic, dan memodulasi vasodilatasi.⁶ Asam amino arginin sebagai prekursor nitrit oksida memberikan efek pada perfusi pembuluh darah yang ada di otot, dan ini dapat memberikan efek peningkatan kesediaan zat gizi untuk otot dan peningkatan pelepasan metabolit seperti laktat dan ammonia yang berhubungan dengan indikator kelelahan otot.⁶

Proses perubahan arginin menjadi prekursor substrat yang ada di dalam tubuh dapat dilihat pada Gambar 6. Arginin masuk ke dalam jaringan tubuh contohnya otot, kemudian dapat terbentuk menjadi beberapa substrat antara lain kreatin, nitrit oksida, protein, maupun mengalami deaminasi hingga masuk ke dalam siklus urea. Nitrit oksida yang terbentuk dari arginin, pada olahraga yang bersifat *endurance* akan mempengaruhi vasodilatasi pembuluh darah. Vasodilatasi saat olahraga berlangsung akan membuat transpor oksigen dan zat gizi menjadi lebih lancar ke jaringan target.

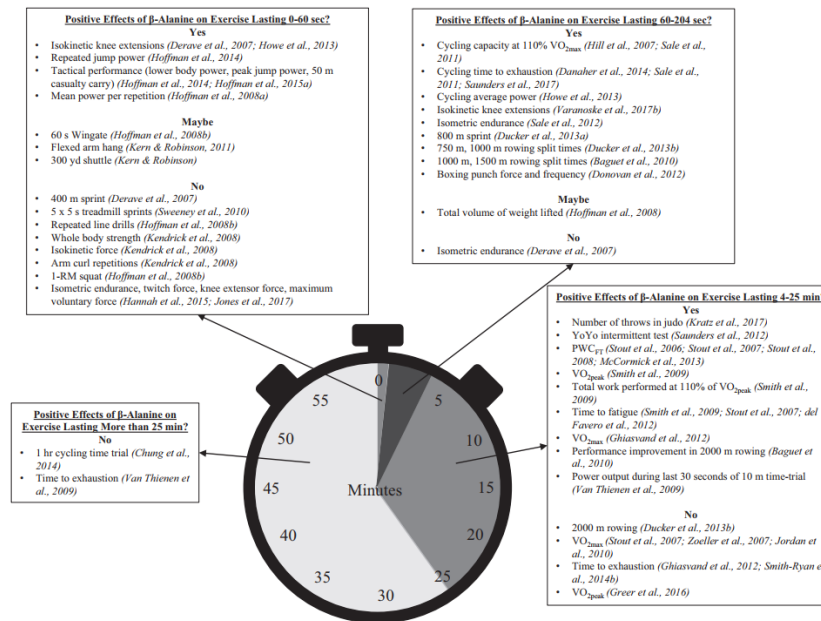
Terdapat beberapa penelitian yang melihat efek suplementasi arginin pada atlet. Pahlavani et al menuliskan bahwa performa olahraga pada atlet atletik lebih tinggi pada kelompok suplementasi arginin daripada kelompok kontrol.¹⁹ Penelitian lainnya juga menunjukkan bahwa suplementasi arginin memberikan efek positif untuk atlet lari.²⁰ Rekomendasi suplementasi arginin pada atlet olahraga *endurance* dapat diberikan dengan dosis 1,5 – 2 g/hari selama 4 – 7 minggu, sedangkan untuk olahraga anaerobik 10 – 12 g/hari selama 8 minggu.²¹



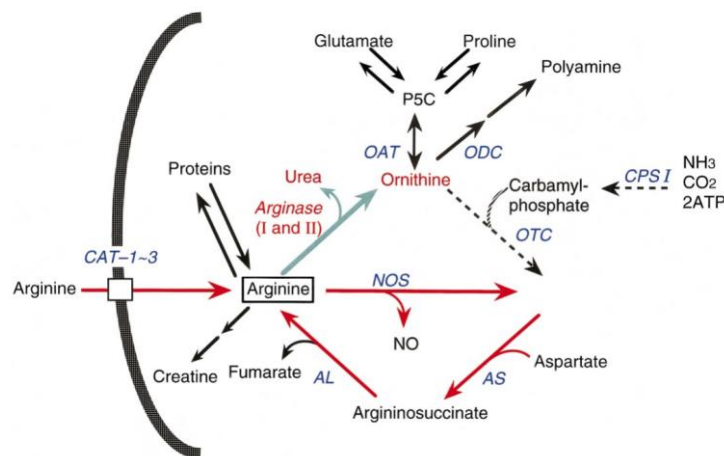
Gambar 3.
BCAA dan Persinyalan Sel saat Sintesis Protein¹²



Gambar 4.
Metabolisme suplementasi β -ALA dan karnosin pada jaringan otot¹⁶



Gambar 5.
Suplementasi β -ALA pada berbagai durasi olahraga¹⁷



Gambar 6.
Jalur Metabolisme Argini Sebagai Prekursor Berbagai Macam Senyawa¹⁸

Glutamin

Glutamin dikenal sebagai asam amino bebas dalam bentuk alifatik yang mayoritas ditemui di berbagai jaringan tubuh. Glutamin memiliki peran sebagai penyedia energi untuk pembelahan sel, sehingga terlibat pada sistem imunitas dan sel enterosit.⁶ Peran glutamin di berbagai jaringan juga spesifik, sebagai contohnya di otak berperan pada buffer ammonia, di ginjal berperan pada ekskresi ammonia, di hati sebagai substrat energi dan juga sintesis glikogen, dan berperan di jaringan otot sebagai subtract energi, sintesis glikogen, mencegah akumulasi ammonia, dan mencegah kelelahan otot.²²

Studi suplementasi glutamin yang dilakukan oleh Nava et al menunjukkan dari indikator kelelahan menjadi lebih rendah kejadiannya pada atlet yang disuplementasi glutamin.²³ Sedangkan untuk indikator total protein, pada atlet yang disuplementasi glutamin memiliki jumlah total yang lebih tinggi.²³ Meskipun terdapat studi yang menunjukkan peran positif suplementasi glutamin, namun belum ada review sistematis yang menganalisis rekomendasi suplementasi. Masih diperlukan riset – riset terkait untuk mendapatkan rekomendasi dosis suplementasi glutamin pada atlet.

SIMPULAN

Suplementasi asam amino menjadi hal yang banyak dilakukan oleh atlet. Review meta analisis menunjukkan efek positif untuk *branched chain amino acids* (BCAA), β -alanin, dan arginin pada performa olahraga. Masih diperlukan lebih banyak studi, baik itu eksperimental maupun review meta analisis untuk membuktikan bagaimana peran asam amino lainnya terhadap performa olahraga.

RUJUKAN

1. Penggalih MHST, Juffrie M, Sudargo T, Sofro ZM. Correlation between nutritional status and lifestyle for youth soccer athlete performance: A cohort study. *Pakistan Journal of Nutrition*. 2017;16(12):895–905.
2. Ronald J. Maughan. *Nutrition in Sport*. France: Blackwell Science Ltd.; 2000.
3. Penggalih MHST, Solichah KM, Nadia A, Ningrum RK, Achmad AS, Reswati VDY. *Pedoman Penatalaksanaan Gizi Atlet*. Yogyakarta: UGM Press; 2021.
4. *Food Labeling: Revision of the Nutrition and Supplement Facts Labels*.
5. Salgado JVV, Lollo PCB, Amaya-Farfan J, Chacon-Mikahil MP. Dietary supplement usage and motivation in Brazilian road runners. *J Int Soc Sports Nutr*. 2014 Aug 21;11(1).
6. Goron A, Moinard C. Amino acids and sport: a true love story? Vol. 50, *Amino Acids*. Springer-Verlag Wien; 2018. p. 969–80.
7. Huang SH, Johnson K. The Use of Dietary Supplements and Medications by Canadian Athletes at the Atlanta and Sydney Olympic Games.
8. Jovanov P, Đorđić V, Obradović B, Barak O, Pezo L, Marić A, et al. Prevalence, knowledge and attitudes towards using sports supplements among young athletes. *J Int Soc Sports Nutr*. 2019 Jul 4;16(1).
9. Gropper SS, Smith JL, Groff JL. *Advanced Nutrition and Human Metabolism*. Fifth. USA: Wadsworth; 2009.
10. Fouré A, Bendahan D. Is branched-chain amino acids supplementation an efficient nutritional strategy to alleviate skeletal muscle damage? A systematic review. Vol. 9, *Nutrients*. MDPI AG; 2017.
11. 2011_Valerio et al_BCAA and mitochondrial biogenesis.
12. Mann G, Mora S, Madu G, Adegoke OAJ. Branched-chain Amino Acids: Catabolism in Skeletal Muscle and Implications for Muscle and Whole-body Metabolism. Vol. 12, *Frontiers in Physiology*. Frontiers Media S.A.; 2021.
13. Howatson G, Hoad M, Goodall S, Tallent J, Bell PG, French DN. Exercise-induced muscle damage is reduced in resistance-trained males by branched chain amino acids: a randomized, double-blind, placebo controlled study [Internet]. 2012. Available from: <http://www.jissn.com/content/9/1/20>
14. Ra SG, Miya Zaki T, Kojima R, Komine S, Ishikura K, Kawanaka K, et al. Effect of BCAA supplement timing on exercise-induced muscle soreness and damage: A pilot placebo-controlled double-blind study. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*. 2018 Nov 1;58(11):1582–91.
15. Fouré A, Nosaka K, Gastaldi M, Mattei JP, Boudinet H, Guye M, et al. Effects of branched-chain amino acids supplementation on both plasma amino acids concentration and muscle energetics changes resulting from muscle damage: A randomized placebo controlled trial. *Clinical Nutrition*. 2016 Feb 1;35(1):83–94.

16. Perim P, Marticorena FM, Ribeiro F, Barreto G, Gobbi N, Kerkick C, et al. Can the Skeletal Muscle Carnosine Response to Beta-Alanine Supplementation Be Optimized? Vol. 6, *Frontiers in Nutrition*. Frontiers Media S.A.; 2019.
17. Varanoske AN, Stout JR, Hoffman JR. Effects of β -Alanine Supplementation and Intramuscular Carnosine Content on Exercise Performance and Health. In: *Nutrition and Enhanced Sports Performance: Muscle Building, Endurance, and Strength*. Elsevier; 2018. p. 327–44.
18. Mori M, Gotoh T. Regulation of nitric oxide production by arginine metabolic enzymes. Vol. 275, *Biochemical and Biophysical Research Communications*. Academic Press Inc.; 2000. p. 715–9.
19. Pahlavani N, Entezari MH, Nasiri M, Miri A, Rezaie M, Bagheri-Bidakhavidi M, et al. The effect of L-arginine supplementation on body composition and performance in male athletes: A double-blinded randomized clinical trial. *European Journal of Clinical Nutrition*. 2017 Apr 1;71(4):544–8.
20. Alvares TS, Conte-Junior CA, Silva JT, Paschoalin VMF. L-arginine does not improve biochemical and hormonal response in trained runners after 4 weeks of supplementation. *Nutrition Research*. 2014 Jan;34(1):31–9.
21. Viribay A, Burgos J, Fernández-Landa J, Seco-Calvo J, Mielgo-Ayuso J. Effects of arginine supplementation on athletic performance based on energy metabolism: A systematic review and meta-analysis. Vol. 12, *Nutrients*. MDPI AG; 2020.
22. Coqueiro AY, Rogero MM, Tirapegui J. Glutamine as an anti-fatigue amino acid in sports nutrition. Vol. 11, *Nutrients*. MDPI AG; 2019.
23. Nava RC, Zuhl MN, Moriarty TA, Amorim FT, Bourbeau KC, Welch AM, et al. The Effect of Acute Glutamine Supplementation on Markers of Inflammation and Fatigue During Consecutive Days of Simulated Wildland Firefighting. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*. 2019 Feb 1;61(2):E33–42.