

## BAB V. BRANCHED CHAIN AMINO ACID (BCAA), SITRULIN, BROMELAIN DAN MUSCLE INJURY

Mardiana<sup>1</sup>, Nur Khofifah<sup>1</sup>, Yanesti Nuravianda Lestari<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Gizi FIK, Universitas Negeri Semarang

mardiana.ikm@mail.unnes.ac.id

DOI: <https://doi.org/10.15294/km.v1i1.71>

### Abstrak

BCAA merupakan salah satu jenis asam amino yang banyak terdapat di dalam minuman olahraga atau *sport drink*. Beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa BCAA secara efektif dapat meningkatkan daya tahan kapasitas latihan, meningkatkan sintesis protein, mengurangi kelelahan otot, melemahkan pemecahan protein otot diinduksi oleh olahraga, dan membantu pemulihan dari kerusakan otot. Selain itu, kandungan *sport drink* yang baru-baru ini banyak dilakukan penelitian ialah sitrulin dan bromelain. Sitrulin merupakan asam amino non esensial, yang berperan dalam meningkatkan kadar nitrit oksida yang dapat meningkatkan system aliran darah, metabolisme energi otot, dan respirasi mitokondria saat berolahraga, sedangkan bromelain merupakan bahan alami yang kompleks mengandung enzim proteolitik yang berasal dari nanas (*Ananas cosmosus*).

**Kata kunci:** Branched Chain Amino Acid, Sitrulin, Bromelain, Muscle Injury

### PENDAHULUAN

*Sport drink* atau minuman olahraga telah beredar di pasaran selama lebih dari satu dasawarsa. *Sport drink* diiklankan untuk mengisi kembali glukosa, cairan, dan elektrolit (natrium, kalium, magnesium, kalsium) yang hilang selama latihan berat serta untuk meningkatkan daya tahan tubuh. Beberapa merk *sport drink* juga mengandung vitamin B yang terkait dengan peningkatan

energi. Minuman olahraga mengandung karbohidrat dalam bentuk gula (misalnya glukosa, fruktosa, dan sukrosa) atau tidak mengandung gula dan dibumbui dengan pemanis rendah kalori.

Jumlah gula dan elektrolit tertentu dalam minuman olahraga bertujuan untuk memungkinkan hidrasi dan penyerapan yang cepat. Salah satu kandungan *sport drink* yang terkenal ialah BCAA, yaitu salah satu minuman yang awalnya populer di Jepang. Minuman tersebut mengklaim secara efektif dapat meningkatkan daya tahan kapasitas latihan, meningkatkan sintesis protein, mengurangi kelelahan otot, melemahkan pemecahan protein otot diinduksi oleh olahraga, dan membantu pemulihan dari kerusakan otot. Klaim ini sesuai dengan yang dipublikasikan hasil penelitian pada suplementasi BCAA. Yang termasuk BCAA ialah leusin, isoleusin, dan valin.

Baker et al., 2015 telah meneliti tentang efek minuman karbohidrat seperti *sports drink* pada responden yang melakukan olahraga secara terus menerus selama 1- 4 jam. Hasilnya menunjukkan bahwa terjadi peningkatan performa saat mengonsumsi *sport drink*. Penelitian Coombes & Hamilton, 2000 menunjukkan bahwa mengonsumsi *sports drink* bisa mengurangi kelelahan dan meningkatkan performa pemain olahraga seperti sepak bola dan *rugby*. Peningkatan performa ini berdasarkan fakta bahwa *sports drink* mampu menyediakan kebutuhan karbohidrat untuk menambah energi. Selain itu, *sports drink* juga diketahui memiliki rasa yang lebih enak dibandingkan dengan air putih biasa. Hal inilah yang menyebabkan atlet menjadi minum lebih banyak cairan dan mengurangi risiko dehidrasi. *Sport drink* memang bermanfaat bagi atlet yang melakukan olahraga dengan durasi lama atau intens. Namun, jika hanya melakukan olahraga level ringan hingga sedang, seperti jalan kaki atau *jogging*, konsumsi *sport drink* tidak terlalu diperlukan. Begitu pula, jika hanya melakukan latihan beban. Meskipun menghabiskan lebih dari satu jam di *gym* atau tempat latihan lain, latihan beban ngga mengurangi cadangan karbohidrat tubuh kita sebanyak ketika latihan daya tahan.



## SPORT DRINK

### 1. *Definisi Sport Drink*

*Sport drink* atau minuman olahraga adalah minuman yang berisi zat gizi tertentu yang dirancang untuk menjaga keseimbangan karbohidrat dan cairan tubuh serta dapat diabsorpsi dengan cepat dari usus halus (Guo, et al, 2009)

### 2. *Komposisi Sport Drink*

Menurut Guo, et al. (2009), komposisi sport drink meliputi :

#### a) Karbohidrat

Karbohidrat bermanfaat sebagai sumber energi dan bahan bakar untuk otot dan otak. Konsentrasi karbohidrat pada sport drink idealnya tidak lebih dari 8%. Larutan yang mengandung tinggi karbohidrat dapat mengganggu pengosongan lambung selama latihan. Jenis dan konsentrasi karbohidrat total memiliki sifat fisiologis dan sensorik untuk minuman isotonik, seperti keseimbangan aroma, rasa manis dan rasa. Jenis karbohidrat yang komersial dan umum digunakan adalah sukrosa, glukosa, fruktosa, maltosa, dan maltodekstrin. Konsentrasi karbohidrat di atas 7 dalam formulasi minuman dapat menimbulkan risiko dibandingkan dengan manfaat yang diperoleh. Secara khusus, meningkatkan konsentrasi karbohidrat dalam minuman olahraga dapat mengurangi pengosongan lambung dan penyerapan usus, meningkatkan risiko lambung, rasa sakit. Selain itu, jenis dan konsentrasi karbohidrat dalam minuman juga mempengaruhi skor osmolalitas minuman, sehingga beberapa aspek ini diperhitungkan saat merumuskan jumlah dan jenis karbohidrat dalam minuman olahraga.

#### b) Elektrolit

Elektrolit yang terdapat dalam *sport drink* yaitu natrium dan kalium.

##### *Natrium Klorida (NaCl)*

Natrium klorida, juga dikenal sebagai kalium klorida dan garam dapur, memiliki berat molekul 58,44. Garam meja yang diedarkan untuk konsumsi di Indonesia biasanya

mengandungodium yang kaya akan kalium iodida ( $KIO_3$ ).  $NaCl$  memiliki bentuk padatan kristal bening dengan berbagai ukuran partikel, tidak berbau dan memiliki rasa asin yang khas. Jika disimpan di tempat dengan kelembaban relatif kurang dari 75%, tetap kering, tetapi jika disimpan di tempat dengan kelembaban relatif lebih tinggi, akan menyerap uap air dari udara dan menjadi basah. 1 gram  $NaCl$  dapat dilarutkan dalam 2,8 ml air pada  $25^\circ C$ , 2,7 ml air mendidih, atau 10 ml gliserol.  $NaCl$  banyak digunakan dalam makanan sebagai zat gizi, pengawet, penguat rasa.

#### *Kalium Klorida (KCl)*

Kalium klorida atau potassium klorida merupakan senyawa kristal yang memiliki berat molekul 74.56 yang tidak berwarna atau berwarna putih. Garam ini tidak berbau, memiliki rasa asin dan stabil di udara. Larutan  $KCl$  memiliki pH netral. Satu gram  $KCl$  dapat larut dalam 2.8 ml air bersuhu  $25^\circ C$  atau dalam 2 ml air mendidih.  $KCl$  tidak larut dalam alkohol. Potasium klorida digunakan pada pangan sebagai zat gizi, suplemen diet, gelling agent, pengganti  $NaCl$  dan makanan khamir. Natrium Sitrat ( $NaSitrat$ ) Natrium sitrat dikenal juga dengan nama sodium sitrat. Rumus molekul senyawa ini adalah  $C_6H_5Na_3O_7 \cdot 2H_2O$  dan berat molekulnya adalah 294,10. Natrium sitrat adalah bubuk kristal tidak berwarna atau tidak berwarna yang mengandung putih, anhidrat, atau dua molekul air (FAO/WHO, 2013). Sangat larut dalam air, tetapi tidak larut dalam alkohol. 1 gram senyawa ini dilarutkan dalam 1,5 ml air atau 0,6 ml air mendidih pada suhu  $25^\circ C$ .

#### *Rasa*

Rasa adalah bagian penting dari minuman olahraga. Penyerapan air melalui minuman olahraga telah terbukti secara signifikan lebih baik daripada air biasa karena rasanya. Sukrosa merupakan bahan penting dalam minuman olahraga. Sukrosa bukan hanya salah satu penentu rasa, tetapi juga berfungsi sebagai sumber karbohidrat (energi)

bagi tubuh. Setiap gram gula/sukrosa menyediakan 4 kkal/gram energi. Sukrosa biasanya digunakan dalam resep minuman olahraga. Sukrosa adalah senyawa yang mengandung karbohidrat, manis, putih, larut dalam air. Rumus molekul sukrosa adalah  $C_{12}H_{22}O_{11}$ , berat molekul adalah 342,30 gram / mol, dan terdiri dari kelompok glukosa dan fruktosa. Manisnya sukrosa murni karena tidak memiliki aftertaste, yaitu rasa kedua setelah yang pertama. Selain itu, sukrosa juga berperan dalam menyeimbangkan keasaman, kepahitan dan rasa asin serta meningkatkan cita rasa makanan melalui proses karamelisasi. Banyak minuman olahraga yang didistribusikan di wilayah tersebut menggunakan sukrosa (disakarida) sebagai sumber energi. Karena makanan tinggi glukosa (glukosa) dan fruktosa (fruktosa), madu dapat digunakan sebagai bahan tambahan. Sejumlah besar glukosa dan fruktosa mudah diserap oleh usus bersama dengan zat organik lainnya, dan madu juga kaya nutrisi lain seperti vitamin, berbagai mineral, asam organik dan enzim pencernaan. Selain itu, madu memiliki sifat antibakteri, terutama terhadap bakteri gram positif seperti *S. Aureus* dan *Bacillus cereus*.

#### *Komposisi Lain*

Beberapa minuman sport drink di pasaran memiliki zat tambahan lainnya seperti vitamin, mineral, protein dan herbal. Namun hanya sedikit produk sport drink di pasaran yang mengandung protein.

#### *Asam Sitrat (H3-Sitrat)*

Asam sitrat merupakan asam organik kuat yang ditunjukkan dengan konstanta disosiasi pertama sebesar  $8,2 \times 10^4$  pada  $18^\circ\text{C}$  dan  $1,77 \times 10^5$  adalah konstanta disosiasi kedua dan ketiga sebesar  $3,9 \times 10^7$ . Asam sitrat umumnya digunakan dalam industri seperti pada industri makanan dan farmasi, Asam sitrat memiliki sifat sangat mudah larut, memiliki keasaman yang menyenangkan, dan tidak beracun. Selain itu, asam sitrat bertindak sebagai agen pengkelat yang

mampu mengikat logam divalen seperti Mn, Mg, dan Fe, yang diperlukan sebagai katalis untuk reaksi biologis, dapat dihambat dengan penambahan asam sitrat (Winarno dan Laksmi, 1974). Rumus molekul asam sitrat adalah  $C_6H_8O_7$  dan berat molekul adalah 192,13. Senyawa ini berupa serbuk kristal tidak berwarna atau putih yang tidak berbau dan memiliki rasa asam yang kuat. Kelarutan dalam air sangat baik. 1 gram asam sitrat dapat dilarutkan dalam 0,5 ml air, 2 ml alkohol, atau 30 ml eter. Asam sitrat umumnya digunakan dalam makanan sebagai acidulant dan flavor (FAO/WHO, 2013). Sejumlah besar glukosa dan fruktosa, bersama dengan zat organik lainnya, mudah diserap oleh usus. Madu juga kaya nutrisi lain seperti vitamin, berbagai mineral, asam organik dan enzim pencernaan. Selain itu, madu memiliki sifat antibakteri, terutama terhadap bakteri Gram positif seperti *Staphylococcus aureus* dan *Bacillus cereus*.

#### *Kalsium Laktat (Ca-laktat)*

Kalsium laktat berbentuk bubuk kristal atau granula, berwarna putih hingga krem, tidak berbau, mengandung hingga 5 molekul air dari bentuk kristal (FAO/WHO, 2013). Kalsium laktat dapat larut dalam air tetapi tidak larut dalam alkohol. Biasa digunakan dalam pangan sebagai *dough conditioner*, buffer dan makanan khamir. Kalsium laktat memiliki rumus molekul  $C_6H_{10}CaO_6 \cdot xH_2O$  dengan berat molekul 218,22.

#### *Vitamin C*

Vitamin C adalah turunan karbohidrat. Rumus molekul Vitamin C adalah  $C_6H_8O_6$  dan berat molekul adalah 176 g / mol. Struktur kristalnya memiliki titik leleh sekitar 190-192 °C. Senyawa ini dikenal sebagai antioksidan alami). Manusia dapat mensintesis vitamin C atau asam askorbat dari gula, namun manusia juga perlu mengonsumsi makanan yang mengandung vitamin C untuk memenuhi kebutuhan RDA sebesar 60 mg per hari. Makanan yang mengandung vitamin C antara lain jambu biji, paprika, jeruk, berbagai jenis

sayuran segar, dan bawang bombay. Vitamin C mudah larut dalam air dan rusak oleh oksidasi, panas dan alkali. Vitamin C sepenuhnya diserap dan didistribusikan ke seluruh tubuh dan terkandung dalam kelenjar adrenal dan kelenjar pituitari dalam konsentrasi yang cukup tinggi. Vitamin C berperan dalam tubuh dalam sintesis kolagen, protein jaringan ikat yang ditemukan terutama di otot, arteri, tulang, dan kulit.

Vitamin C memiliki dua struktur kimia, asam askorbat dan asam dehidroaskorbat. Asam sitrat dengan  $PKA$  4,04 pada  $25^{\circ}C$  sangat mudah teroksidasi menjadi asam dehydroshovatinic. Toksin asam Ldehydroascorbic sangat berlabel dan dapat bereaksi lebih lanjut terhadap reaksi Ldiketogulonate, yang tidak menghasilkan aktivitas vitamin C. Vitamin C Askorbat sebagai bahan kimia keringat adalah senyawa stabil tidak berbau yang larut dalam air dalam bentuk padatan putih. Mudah larut dalam air dan etanol, tetapi tidak larut dalam pelarut organik. Asam askorbat memiliki gugus hidroksil asam ( $PK_1 = 4,04$ ,  $pk_2 = 11,4$  pada  $25^{\circ}C$ ). Kelelawar yang diasamkan dapat dengan cepat dioksidasi dalam tubuh menjadi asam dehydromusonic dan kembali ke bentuk tereduksi (asam askorbat). Kemampuan untuk berperan dalam reaksi redoks mendasari fungsi asam askorbat sebagai vitamin. Asam askorbat segera dioksidasi menjadi asam dehidroaskorbat dalam kondisi kesetimbangan, dan dan terhidrasi menjadi hemisetal dalam larutan. Vitamin C kehilangan aktivitas biologisnya ketika cincin lakton dari asam dehidroaskorbat terbuka untuk membentuk asam 2,3-diketogonic. Pengawet ditambahkan ke makanan untuk mempertahankan atau membatasi aktivitas mikroba bakteri, jamur dan ragi. Hal ini dapat menyebabkan pembusukan makanan, fermentasi, pengasaman, atau dekomposisi.

### *Pengawet*

Salah satu bahan pengawet yg luas dipakai merupakan asam, atau garam benzoat. Asam benzoat atau pada

bentuk garamnya, mempunyai kemampuan buat merusak pertumbuhan mikroba. Benzoat beraksi secara pribadi dalam dinding sel mikroba dan merusak kineda enzim daur asam sitrat & enzim fosforilasi oksidatif Benzoat lebih tak jarang dipakai pada bentuk garam alkali, lantaran sifat kelarutan asam benzoat sangat rendah pada air. Natrium. benzoat ( $\text{NaC}_7\text{HSO}$ ,  $M_r = 144,4$  gr/mol) mempunyai struktur yg stabil, berbentuk kristal putih & cita cita cita cita cita rasanya sedikit manis. Aktivitas optimum benzoat terjadi antara pH 2,54. Zat antimikroba ini efektif pada merusak pertumbuhan khamir & bakteri, tetapi kurang efektif buat merusak pertumbuhan kapang. Menurut SNI 01-0222-1995, batas penggunaan sodium benzoat buat produk minuman merupakan sebanyak 600 ppm.

### 3. *Manfaat Sport Drink*

Beberapa manfaat dari sport drink antara lain :

- a) Mencegah terjadinya dehidrasi awal
- b) Menjaga keseimbangan cairan tubuh
- c) Membantu melancarkan keluarnya keringat
- d) Menjaga pengaturan panas tubuh (*thermoregulasi*) agar berjalan normal
- e) Menjaga proses metabolisme energi
- f) Mengurangi resiko terjadinya *heat stroke*

## **BRANCHED CHAIN AMINO ACID (BCAA)**

### 1. *Struktur Kimia*

Asam amino (AA) merupakan unit struktural yang membentuk protein. Lebih dari 300 AA terdapat di alam namun hanya sekitar 20 yang berfungsi untuk membangun protein (Wu, 2009). Terdapat AA esensial dan non esensial. Di antara AA esensial, tiga memiliki karakteristik khusus yang disebut rantai cabang asam amino atau Branched

Chain Amino Acid (BCAA). Namanya mengacu pada struktur kimianya; leusin, isoleusin, dan valin.

Ketiga BCAA memiliki struktur yang mirip; namun, rantai samping mereka berbeda dalam ukuran, bentuk, dan hidrofobisitas. Akibatnya, mereka memiliki kecenderungan struktur sekunder dan peran yang berbeda. BCAA terdiri dari sekitar 35% dari AA yang dibutuhkan oleh mamalia dan sebagian besar berhubungan dengan metabolisme energi otot.

## 2. *Manfaat*

Branched Chain Amino Acid memiliki rantai cabang memiliki sifat khusus mereka sendiri yang terbukti memperbaiki dan memulihkan kelelahan otot, antara lain (Lindsey P Smith, 2013):

### a) L-leusin

L-Leusin terbukti secara ilmiah dapat meningkatkan waktu kelelahan. Efek signifikan L-Leusin pada atlet kano, para atlet kano mengambil L-Leusin atau plasebo sebelum sesi pelatihan enam minggu. Sebelum dan sesudah latihan mereka diuji waktu yang dibutuhkan untuk menjadi lelah mendayung dengan kekuatan aerobik maksimum 70-75%. Kelompok plasebo tidak menunjukkan peningkatan dalam jumlah waktu yang mereka mampu untuk mendayung, tetapi kelompok L-Leusin meningkatkan waktu mereka satu menit penuh dari 6,3 menjadi 7,3 menit. L-Leusin terbukti mencegah kerusakan otot.

### b) L-isoleusin

Meningkatkan energi dan stamina dalam tiga cara yaitu:

- 1) Meningkatkan penyerapan glukosa.
- 2) Menghasilkan hemoglobin, yang membawa oksigen ke seluruh tubuh.
- 3) Menciptakan energi dalam jaringan otot muscle

### c) L-valin

Bermanfaat untuk :

- 1) Meningkatkan kinerja mental yang dapat dikoordinasikan selama aktivitas fisik yang intens.
- 2) Mengurangi stres dan frustrasi.
- 3) Meningkatkan koordinasi dan refleksi.
- 4) Menghasilkan neurotransmitter dan enzim untuk metabolisme otak.
- 5) Meningkatkan kualitas tidur.
- 6) Mengatur sistem kekebalan tubuh.
- 7) Menekan nafsu makan.
- 8) Meningkatkan bioavailabilitas karbohidrat kompleks.

### 3. *BCAA dan Performa Atlet*

#### a) Kelelahan Sentral

Disebut kelelahan sentral apabila kelelahan berasal dari sistem saraf pusat, sedangkan jika kelelahan berasal dari otot disebut dengan kelelahan perifer. Studi menunjukkan bahwa serotonin (5-HT) dipengaruhi oleh latihan fisik. BCAA dapat bertindak sebagai neurotransmitter; mengurangi rasa lelah. Hasil penelitian Blomstrand terkait dengan sensitivitas reseptor 5-HT menunjukkan bahwa atlet terlatih dapat mengembangkan sensitivitas yang lebih rendah, hal ini dapat berkontribusi pada peningkatan latihan (Blomstrand, 2006). Studi berbeda menunjukkan bahwa konsumsi suplemen BCAA sebelum olahraga dapat meningkatkan profil BCAA darah. Peningkatan BCAA dalam plasma meningkatkan persepsi usaha dibandingkan dengan kelompok plasebo pada 75 dan 90 menit latihan, namun tidak meningkatkan performa olahraga (Greer et al., 2011). Sebuah penelitian pada pelari, setelah 3 hari program latihan dengan suplemen BCAA, menunjukkan bahwa kelelahan meningkat pada kelompok eksperimen dan kelompok kontrol, namun penurunan kelelahan pada 120 menit setelah latihan secara signifikan lebih tinggi pada kelompok eksperimen (Hsu et al., 2011).

b) Kerusakan Otot

Penelitian tentang efek BCAA pada kerusakan otot menunjukkan bahwa suplementasi BCAA dapat meningkatkan pemulihan otot, hal ini karena terdapat penurunan parameter terkait kerusakan otot seperti *creatine kinase* (CK) dan *lactate dehydrogenase* (LDH) (Urdampilleta et al., 2012). Beberapa penelitian menunjukkan bahwa leusin adalah AA yang bertanggung jawab untuk meningkatkan sintesis protein pasca latihan. Suplementasi leusin sebelum dan selama pertandingan lari jarak jauh dikaitkan dengan degradasi protein otot dan peningkatan oksidasi selama periode pemulihan. Ada bukti bahwa kontraksi eksentrik otot menginduksi kerusakan otot dan nyeri (*ruptur myofibrillar* yang lebih besar), hal ini disebabkan karena keluarnya protein ke dalam sirkulasi sistemik (*proteolisis*). Penelitian menunjukkan bahwa dalam kondisi ini, suplementasi BCAA dapat menekan proteolisis dan mengurangi kerusakan otot (Urdampilleta et al., 2012).

4. Kebutuhan BCAA dalam Sport Drink

Kebutuhan BCAA dipengaruhi oleh banyak faktor seperti ukuran tubuh dan intensitas latihan. Menurut penelitian terbaru, orang dewasa yang sehat dianjurkan untuk mengonsumsi setidaknya 9 gram BCAA per hari untuk wanita dan setidaknya 12 gram per hari untuk pria. Kebutuhan BCAA ini hanya dapat dipenuhi dengan mengonsumsi sumber protein. Namun, bagi atlet dan mereka yang berolahraga secara intensif, kebutuhan BCAA bisa sedikit lebih besar. Oleh karena itu, mereka mungkin perlu mengonsumsi suplemen BCAA. Mengonsumsi 1535 gram suplemen BCAA per hari umumnya aman dan tidak menimbulkan efek samping pada kebanyakan orang..

Sumber BCAA di alam, BCAA hanya ditemukan dalam makanan kaya protein, sedangkan suplemen BCAA menyediakan asam amino rantai cabang dalam bentuk

bebas yang langsung dapat digunakan oleh atlet. Oleh karena itu, menggunakan suplemen BCAA memungkinkan untuk mengontrol asupan protein, sehingga mengurangi tekanan dari sistem pencernaan dan hati dan memastikan bahwa darah yang berharga tidak dialihkan dari otot yang aktif.

Leusin: protein whey, kasein, telur, kedelai, susu, keju

Isoleusin: daging, unggas, ikan, protein whey, kasein, telur, kedelai, keju cottage, susu, kacang mete

Valin: protein whey, kasein, putih telur, kedelai, keju, susu, keju cottage

## SITRULIN

*Citrulline* atau sitrulin adalah asam amino yang namanya berasal dari *Citrullus vulgaris* (umumnya dikenal sebagai semangka) dari yang pertama kali diisolasi pada tahun 1930-an. Sitrulin adalah asam amino non protein yang memegang peranan penting pada tiga jalur metabolisme diantaranya detoksifikasi amonia di dalam siklus urea, sintesis glutamin menjadi arginin di dalam usus dan ginjal, serta sintesis nitrit oksida. Sampai saat ini, sitrulin belum menarik minat pada komunitas ilmiah karena itu adalah asam amino non-proteat dan dianggap hanya sebagai perantara dari siklus urea. Pada awal 1980-an, Windmueller & Spaeth mengungkapkan bahwa usus kecil melepaskan sejumlah besar sitrulin yang terutama diambil oleh ginjal dan pada gilirannya arginin dilepaskan dalam jumlah setara dengan sekitar 75% dari situlin yang diambil. Apabila sintesis arginin terganggu, sitrulin menjadi asam amino esensial. Kekhususan metabolisme sitrulin dan arginin yang dikombinasikan dengan fakta bahwa sitrulin adalah prekursor utama arginin (melalui konversi ginjal) (Moinard et al., 2008).

### 1. Manfaat

Sitrulin berperan dalam meningkatkan kinerja atletik atlet. Sitrulin mendukung proses pembentukan oksida nitrat, yang dapat meningkatkan aliran darah, meningkatkan efisiensi penggunaan oksigen di otot dan membuang metabolit yang tersisa dari latihan.

Selain itu, sitrulin juga dapat mendetoksifikasi kadar amonia dalam otot. Ini adalah penghasil asam laktat berlebih yang dapat mengganggu kontraksi otot dan menyebabkan kelelahan otot. Mengonsumsi sitrulin dengan suplemen atau semangka selama 7 hari, atau hanya sekali satu jam sebelum berolahraga, dapat meningkatkan VO2max, menunda kelelahan otot, dan mengurangi nyeri otot setelah berolahraga. (Shanely et al., 2016)

Untuk performa atlet, mengonsumsi L-sitrulin mungkin efektif untuk meningkatkan beberapa jenis kinerja olahraga bila dikonsumsi hingga 7 hari. L-sitrulin dapat membantu beberapa atlet bekerja lebih keras, mengangkat beban lebih lama, dan melaju lebih cepat dengan sepeda olahraga. Tapi sepertinya itu tidak membantu orang berlari untuk jarak yang lebih jauh. Selain itu, L-sitrulin dapat membantu orang dengan gagal jantung yang sudah diobati dengan obat standar. Mengonsumsi L-sitrulin dapat mengurangi tekanan darah di paru-paru pada pasien gagal jantung, dengan demikian membantu jantung bekerja lebih baik, memungkinkan orang dengan gagal jantung berjalan lebih jauh (Kanda *et al.*, 2013).

Beberapa manfaat sitrulin yang diketahui namun cukup bukti antara lain:

- a) Disfungsi ereksi (DE). Mengonsumsi L-sitrulin melalui oral tampaknya meningkatkan fungsi seksual pada beberapa pria dengan disfungsi ereksi.
- b) Kelainan bawaan yang ditandai dengan ketidakmampuan tubuh untuk memecah asam amino lisin, arginin, dan ornitin dengan benar (intoleransi protein lisinurik). Mengonsumsi L-sitrulin pada makanan dapat memperbaiki gejala pada anak-anak dengan kondisi ini.
- c) Sekelompok kelainan bawaan yang menyebabkan kelemahan otot dan kehilangan otot (*muscular dystrophy*). Penelitian awal menunjukkan bahwa mengonsumsi L-sitrulin dengan atau tanpa obat metformin dapat meningkatkan fungsi otot dan mengurangi kehilangan otot pada orang dewasa atau anak-anak dengan distrofi otot yang tidak terlalu parah. Tetapi

tampaknya tidak membantu anak-anak dengan kelemahan otot yang lebih parah.

- d) Tekanan darah tinggi di arteri paru-paru setelah operasi (hipertensi paru pasca operasi). Tingkat L-sitrulin yang lebih tinggi dalam darah dapat membantu mengurangi tekanan darah tinggi yang dapat terjadi setelah operasi jantung pada anak-anak. Mengonsumsi L-sitrulin meningkatkan kadar darah pada beberapa orang.
- e) Tekanan darah tinggi pada arteri di paru-paru (hipertensi pulmonal). Mengonsumsi L-sitrulin melalui oral dapat menurunkan tekanan darah di paru-paru dan membantu pasien dengan hipertensi pulmonal berjalan lebih jauh.
- f) Penyakit sel sabit. Mengonsumsi L-sitrulin melalui oral dapat memperbaiki beberapa gejala pada orang dengan penyakit sel sabit.
- g) Penyakit alzheimer.
- h) Gangguan yang menyebabkan kerusakan otak dan hati (sindrom Reye).
- i) Diabetes.
- j) Kelelahan.
- k) Penyakit jantung.
- l) Tekanan darah tinggi.
- m) Kerusakan jaringan yang disebabkan ketika ada aliran darah yang kurang dan kemudian aliran darah dipulihkan (cedera iskemia-reperfusi).

## 2. *Sitrulin dan Performa Atlet*

L-sitrulin adalah komponen penting yang berperan dalam siklus urea di hati. Selama olahraga yang intens, terjadi peningkatan produksi amonia dan IMP (*inosin monofosfat*) di otot. Konsentrasi amonia yang tinggi dalam darah menyebabkan peningkatan laju glikolisis dan glikolisis anaerobik menghasilkan akumulasi laktat darah yang kemudian akan meningkatkan kelelahan otot. Untuk menghindari akumulasi senyawa ini dan penurunan pH seluler, siklus urea di hati bertanggung jawab untuk mengeliminasi amonia dalam bentuk urea (Meneguello, 2003).

Dengan mengontrol konsentrasi amonia melalui siklus urea, suplementasi sitrulin dapat digunakan untuk meningkatkan aerobik piruvat dan menurunkan produksi laktat melalui jalur anaerobik. Penelitian yang dilakukan pada hewan coba, suplementasi sitrulin dapat menurunkan produksi laktat (Takeda, 2011).

Penelitian oleh Martínez-Sánchez (2017) mengenai respon biokimia, fisiologis, dan kinerja dari suatu fungsi jus semangka yang diperkaya L-sitrulin (CWJ) selama maraton setengah, menunjukkan hasil bahwa setelah maraton, responden yang mengonsumsi jus semangka yang diperkaya L-sitrulin menunjukkan peningkatan kadar plasma pada beberapa enzim (LDH, AST, ALT, dan CK). Meskipun responden yang mengonsumsi CWJ menunjukkan nilai yang lebih tinggi dari kelompok plasebo, tidak ada perbedaan yang signifikan kecuali LDH. Di sisi lain, secara signifikan kadar laktat plasma meningkat setelah maraton, lebih tinggi pada kelompok plasebo (4,5 kali tingkat basal) daripada pada kelompok CWJ (3,5 kali tingkat basal).

Pemberian suplementasi 8 g sitrulin 1 jam sebelum latihan dapat meningkatkan jumlah repetisi angkat beban tubuh bagian atas dan bawah serta repetisi *push up* dan *chin up* (Glenn, 2017). Hasil ini sesuai dengan penelitian lain bahwa suplementasi 8 g sitrulin 1 jam sebelum latihan dapat meningkatkan performa olahraga intensitas tinggi dengan jeda istirahat singkat serta meredakan nyeri otot pasca latihan (Pérez-Guisado, 2010). Suzuki menggunakan dosis sitrulin yang lebih rendah yaitu 2,4 g yang diberikan selama 7 hari intervensi tersebut mampu meningkatkan kelelahan subyektif pada otot dan mempersingkat waktu pembalap untuk bersepeda sejauh 4 km (Suzuki et al., 2016).

Penelitian lain menyebutkan konsumsi 500 ml jus semangka (1,17 g sitrulin) 1 jam sebelum latihan dapat meningkatkan jumlah repetisi maksimal angkat beban serta menurunkan nyeri otot pasca latihan (Tarazona-Diaz, 2005). Dan konsumsi jus semangka 60 menit sebelum latihan dapat mengurangi kelelahan otot daripada yang tidak mengonsumsi jus

semangka (Curis, 2005). Hasil yang berbeda didapatkan dari penelitian yang lain.

Pemberian sitrulin sebesar 6 g atau 710 ml jus semangka 2 jam sebelum dilakukan berbagai tes latihan fisik tidak menunjukkan perbaikan repetisi *bench press*, kelelahan otot,  $VO_{2max}$ , dan kapasitas anaerobik dibandingkan dengan plasebo berupa sirup sukrosa (Cutrufello, 2015). Subjek penelitian pada studi ini adalah 22 atlet ( $n=11$  pria) dari berbagai cabang olahraga yang berbeda yaitu atletik 7 orang, basket 5 orang, sepak bola 3 orang, softball 3 orang, lacrosse 2 orang, baseball 2 orang, dan kru tim 1 orang. Studi lain menyatakan bahwa konsumsi sitrulin 3 g per hari dapat menurunkan kadar asam laktat dalam darah (López-cabral, 2012).

Pada penelitian ini, pemain sepak bola yang mengonsumsi 750 mL jus semangka (2,8 g citrulline) selama 7 hari mengalami peningkatan  $VO_{2max}$  yang signifikan ( $2,27 \pm 1,09$  mL/kg/menit) dibandingkan pemain sepak bola yang tidak mengonsumsi jus semangka. bahwa saya pernah mengalaminya.  $1,92 \pm 3,6$  mL / kg / menit) ( $p = 0,007$ ) 1. Konsumsi citrulline dapat meningkatkan kadar citrulline dan arginine dalam tubuh 7,23-26. Keduanya merupakan asam amino penting untuk pembentukan oksida nitrat. Oksida nitrat yang dihasilkan membantu meningkatkan aliran darah (vasodilatasi) 1. Oleh karena itu, efek ini membantu atlet melakukan aktivitas intens untuk waktu yang lama dengan meningkatkan transportasi oksigen ke miokardium 1 dan jaringan. (Sirait, 2015) . Penggunaan oksigen di dalam tubuh selama berolahraga dapat dimaksimalkan dengan adanya nitrit oksida. Hal ini menyebabkan transport oksigen ke otot meningkat dan zat metabolik yang terbentuk saat latihan dapat terbuang. Mekanisme nitrit oksida inilah yang menyebabkan peningkatan  $VO_{2max}$  pada atlet.

### 3. Kebutuhan Sitrulin dalam Sport Drink

Tidak ada dosis yang direkomendasikan untuk asupan L-sitrulin untuk meningkatkan kinerja olahraga, tetapi dosis 6 atau 8 g L-sitrulin malate (Suzuki et al., 2016). Namun berdasarkan

beberapa literatur ilmiah, dosis sitrulin yang dianjurkan bagi orang dewasa yang dikonsumsi secara oral ialah:

- a) Untuk kinerja atletik: 2,4 gram atau 5 gram setiap hari selama 7 hari, atau 8 gram sebelum latihan. L-sitrulin maleat 2 gram setiap hari hingga 8 minggu. 1,2 gram setiap hari ditambah L-arginin 1,2 gram setiap hari selama 7 hari (Moinard et al., 2008).
- b) Untuk gagal jantung: 3 gram setiap hari selama 2-4 bulan (Balderas-, 2012).

#### 4. Sumber Sitrulin

Sumber utama sitrulin di dalam makanan adalah buah semangka (*Citrullis vulgaris*) yang setiap 1 g dagingnya rata-rata mengandung 2,1 mg sitrulin (Rimando, 2005). Selain itu sitrulin terdapat pada beberapa buah antara lain labu, timun, *beet melon*, dan labu. Kadar air yang tinggi dan komponen nutrisi pada semangka dapat menjadi pilihan bagi para atlet yang mencari sumber makanan utuh alami untuk hidrasi dan nutrisi selama aktivitas fisik. Namun demikian, beberapa jenis semangka mengandung tinggi fruktosa (Shanely et al., 2016).

#### 5. Efek Samping

Tidak ada penelitian yang melaporkan efek samping konsumsi sitrulin. Namun, konsumsi L-citrulline harus hati-hati jika dibarengi dengan konsumsi obat tekanan darah jenis apa pun. Tidak disarankan mengonsumsi L-citrulline jika sedang hamil atau menyusui.

### **BROMELAIN**

#### 1. Manfaat

Bromelain adalah bahan alami yang kompleks campuran enzim proteolitik yang berasal dari nanas (*Ananas cosmosus*) dan memiliki sifat terapeutik yang menonjol. Bromelain digunakan selama bertahun-tahun dalam pengobatan tradisional untuk berbagai masalah kesehatan. Nilai terapeutik potensial dari bromelain adalah karena sifat biokimia dan farmakologisnya, dan yang utama bahan dalam bromelain mentah adalah enzim

proteolitik yang disebut glikoprotein, yang merupakan tambahan bahan yang tidak larut, seperti: mineral, pigmen berwarna, protease inhibitor, asam organik dan pelarut organik (Rathnavelu et al., 2016).

Bromelain tidak hanya digunakan untuk mengobati berbagai masalah kesehatan, tetapi juga populer sebagai suplemen nutrisi untuk mempromosikan kesehatan. Bromelain diserap ke dalam usus manusia dan tetap aktif secara biologis dengan waktu paruh 6-9 jam (O-A-Mialovyts'ka, 2003). Konsentrasi bromelain tertinggi ditemukan pada darah satu jam setelah pemberian. Bromelain meningkatkan bioavailabilitas dan mengurangi efek samping yang terkait dengan berbagai antibiotik. Selanjutnya, bromelain bertindak sebagai imunomodulator, anti-metastasis, anti-edema, anti-trombotik dan anti-inflamasi (Fazlul H Sarkar, 2004).

Selain paparan diatas, Bromelain dapat digunakan sebagai:

a) Anti-inflamasi

Penelitian menunjukkan bahwa bromelain mungkin bermanfaat bagi penderita rheumatoid arthritis. Seiring dengan mengurangi peradangan hidung pada sinusitis, bromelain juga dapat mengurangi peradangan di tempat lain di tubuh. Menurut tinjauan oleh Rathnavelu, et al. (2016), sebuah penelitian yang dilakukan pada model sel dan hewan menunjukkan bahwa bromelain dapat mengurangi senyawa tertentu yang terkait dengan peradangan kanker dan pertumbuhan tumor. Bromelain juga dapat membantu merangsang sistem kekebalan tubuh yang sehat untuk melepaskan senyawa sistem kekebalan yang melawan peradangan. Tinjauan tersebut juga menunjukkan bahwa bromelain dapat mengurangi *transforming growth factor beta*, yang merupakan senyawa yang terkait dengan peradangan pada *rheumatoid arthritis* dan *osteomyelofibrosis*. Namun, para ilmuwan telah melakukan banyak penelitian ini pada tikus atau di laboratorium berbasis sel, sehingga para peneliti saat ini tidak mengetahui efek yang dimiliki bromelain pada manusia. Pada berbagai kondisi, seperti menekan peradangan terkait kanker yang terlibat dalam sintesis prostaglandin E2 (PGE-2). PGE-2

adalah lipid pro-inflamasi yang juga bertindak sebagai immunosupresan, serta promotor perkembangan tumor. Bromelain berpotensi mengaktifkan sistem kekebalan tubuh yang sehat dalam hubungannya dengan rapid respon terhadap stres seluler. Sebaliknya, bromelain mengurangi IL-1 $\beta$ , IL-6 dan TNF-sekresi ketika sel imun berada sudah dirangsang dalam kondisi yang diinduksi peradangan produksi sitokin yang berlebihan (Jane *et al.*, 2008). Selain itu, Bromelain dapat mengaktifkan sel pembunuh alami dan menambah produksi faktor perangsang granulosit-makrofag-koloni, IL-2, IL-6 dan menurunkan aktivasi sel T-helper (Fazlul H Sarkar, 2004).

b) *Anti-microbial*

Kombinasi bromelain dan terapi antibiotik terbukti lebih efektif daripada antibiotik saja pada pneumonia, bronkitis, infeksi *Staphylococcus* kulit, tromboflebitis, selulitis, pielonefritis, dan abses perirektal dan rektal, sinusitis dan infeksi saluran kemih. Sebuah kombinasi bromelain, tripsin, dan rutin telah diberikan sebagai terapi adjuvant dalam kombinasi dengan antibiotik untuk anak-anak dengan sepsis. Selain itu, bromelain telah berhasil diberikan sebagai enzim pencernaan untuk mengobati gangguan usus, pankreatektomi dan pankreas eksokrin ketidakcukupan. Akhirnya, kombinasi empedu sapi, pankreatin, dan bromelain efektif dalam menurunkan ekskresi lemak tinja pada pasien dengan steatorrhea pankreas, menghasilkan perbaikan gejala nyeri, perut kembung dan frekuensi tinja (R-Pellicano *et al.*, 2009).

c) Menghilangkan Sinusitis

Bromelain dapat membantu sebagai terapi suportif untuk mengurangi gejala sinusitis dan kondisi terkait yang memengaruhi pernapasan dan saluran hidung. Sebuah tinjauan studi oleh Rathnavelu, *et al.* (2016) menunjukkan bahwa bromelain dapat mengurangi durasi gejala sinusitis pada anak-anak, memperbaiki pernapasan, dan mengurangi gejala hidung tersumbat. peradangan. Sebuah tinjauan studi oleh Guo, *et al.* (2009) menyatakan bahwa bromelain, ketika seseorang menggunakannya bersama obat-obatan standar, dapat

membantu meredakan peradangan pada sinus. Studi ini memberikan bukti berkualitas tinggi, karena melihat 10 uji coba kontrol secara acak.

d) Mengobati Osteoarthritis

Orang biasanya menggunakan suplemen bromelain untuk memperbaiki gejala osteoarthritis. Sebuah tinjauan studi klinis Brien, et al. (2004) menemukan bahwa bromelain adalah pengobatan yang berguna untuk osteoarthritis, mungkin karena efek anti-inflamasinya. Para peneliti mengatakan bahwa penelitian lebih lanjut diperlukan untuk efektivitas dan dosis yang sesuai. Namun, ini adalah penelitian yang lebih lampau, dan *National Institutes of Health* (NIH) mengatakan bahwa penelitian hingga saat ini beragam tentang apakah bromelain, sendiri atau dengan obat lain, efektif dalam mengobati osteoarthritis.

e) Efek Antikanker

Bromelain memiliki efek antikanker baik pada sel kanker dengan meningkatkan peradangan dalam tubuh dan meningkatkan sistem kekebalan tubuh, menurut tinjauan studi oleh Chobotova, et al. (2010) dalam jurnal *Cancer Letters*. Namun, NIH mengatakan bahwa saat ini tidak ada cukup bukti yang menunjukkan bahwa bromelain memiliki efek pada kanker.

f) Meningkatkan Pencernaan

Beberapa orang mengonsumsi bromelain untuk meredakan sakit perut dan gejala gangguan pencernaan. Karena sifatnya yang mengurangi peradangan, beberapa orang menggunakannya sebagai terapi tambahan untuk mengobati gangguan radang usus. Namun, NIH menyatakan bahwa tidak ada cukup bukti untuk menggunakan bromelain untuk membantu pencernaan. Penelitian pada hewan menunjukkan bahwa bromelain dapat mengurangi efek beberapa bakteri yang mempengaruhi usus, seperti *Escherichia coli* dan *Vibrio cholera* yang merupakan penyebab umum diare.

g) Penurunan Berat Badan

Beberapa produsen suplemen memasarkan bromelain sebagai bantuan penurunan berat badan. Mereka menyatakan bahwa enzim dalam bromelain dapat meningkatkan kecepatan tubuh mencerna lemak. Namun, hanya sedikit penelitian yang menunjukkan bahwa bromelain dapat membantu seseorang menurunkan berat badan.

## 2. *Bromelain dan Performa Atlet*

Kompleks quercetin bromelain adalah kombinasi kuat dari senyawa antioksidan dan anti-inflamasi quercetin, dan bromelain, enzim anti-inflamasi alami. Bromelain membantu tubuh menyerap quercetin dan mendinginkan peradangan. Bromelain adalah enzim proteolitik yang ditemukan di kedua batang dan buah nanas dan telah dipelajari sebagai pengobatan untuk sejumlah kondisi peradangan di manusia. Mekanisme aksi yang diusulkan bromelain mengurangi produksi proinflamasi produksi prostaglandin tanpa mempengaruhi prostaglandin anti-inflamasi. Namun, penting untuk mengakui bahwa efek utama bromelain adalah sebagai protease; enzim yang memotong protein lain dan mengatur pembentukan bekuan dan resorpsi setelah cedera.

Oleh karena itu, jika olahraga tidak menyebabkan cedera membran yang signifikan yang menghasilkan pembentukan bekuan fibrin, efektivitas bromelain mungkin terbatas. Bromelain telah dipelajari secara ekstensif dalam inflamasi keadaan penyakit pada populasi umum. Ada yang kurang informasi yang tersedia tentang efeknya pada populasi atletik. Ini pertama kali disarankan untuk memberikan manfaat bagi otot cedera dalam percobaan menggunakan hamster melakukan latihan eksentrik. Namun, Batu et al. menemukan bahwa pada manusia, baik 1200 mg ibuprofen maupun 900 mg bromelain lebih baik daripada plasebo dalam mengurangi DOM setelah latihan resistensi pada subjek yang tidak terlatih. Untuk 1000 mg/hari bromelain mengurangi kelelahan yang dirasakan pada hari keempat balapan tahap 6 hari, itu tidak berpengaruh pada indeks otot cedera.

Meskipun bromelain dalam isolasi mungkin memiliki keterbatasan efek pada cedera otot pada atlet, mungkin ada

manfaatnya bila digunakan dalam kombinasi dengan inhibitor protease lainnya. Penelitian lain menunjukkan bahwa mengonsumsi suplemen proteolitik yang mengandung bromelain, protease jamur, dan papain selama 21 hari meningkatkan fungsi otot setelah protokol lari menurun (tingkat -17,5% selama 45 menit).

Demikian pula, bromelain (50 mg) dalam hubungannya dengan lainnya protease (325 mg enzim pankreas, 75 mg tripsin, 50 mg papain, 10 mg amilase, 10 mg lipase, 10 mg lisozim, 2 mg chymotrypsin) diambil empat kali hari, 1 hari sebelum dan 3 hari setelah lari menuruni bukit dan terjadi peningkatan fungsi otot 24 dan 48 jam setelah latihan ketika dibandingkan dengan plasebo. Perpaduan khusus dari protease yang dapat digunakan untuk meningkatkan otot berfungsi setelah latihan yang melibatkan beban eksentrik yang tinggi. Namun, penelitian lebih lanjut diperlukan untuk memahami efek potensial protease pada DOMS pada atlet juga sebagai mekanisme fisiologis yang mendasarinya.

### 3. *Kebutuhan Bromelain dalam Sport Drink*

Tubuh biasanya mampu menyerap sejumlah besar bromelain dengan aman. Orang dapat mengonsumsi sekitar 12 gram bromelain per hari tanpa menimbulkan efek samping yang tidak diinginkan. Namun, baik dokter maupun peneliti tidak menetapkan jumlah bromelain tertentu yang harus dikonsumsi seseorang untuk melihat manfaat kesehatannya. Dosis mungkin tergantung pada jenis bromelain yang dikonsumsi seseorang (dari batang atau buahnya), bagaimana persiapannya, dan rekomendasi pabriknya. Namun, untuk pembengkakan, beberapa ahli merekomendasikan kisaran 80 miligram hingga 300 miligram ekstrak yang diminum dua hingga tiga kali sehari. Satu atau dua tablet bromelain 200 miligram digunakan untuk nyeri lutut.

### 4. *Sumber Bromelain*

Bromelain secara alami hadir dalam buah nanas, baik batang dan dagingnya. Produsen dapat menjual bromelain dalam bentuk kapsul, krim, bubuk, atau tablet. Produsen juga dapat

mengemas bromelain bersama dengan suplemen lain, seperti asam linoleat terkonjugasi, yang merupakan senyawa yang dapat membantu menurunkan berat badan.

## **MUSCLE INJURY**

Cedera otot adalah penyebab paling sering dari ketidakmampuan fisik dalam latihan olahraga. Diperkirakan 30 hingga 50% dari semua cedera terkait olahraga disebabkan oleh lesi jaringan lunak (Fernandes et al., 2011). Cedera otot biasanya terjadi pada fase eksentrik kontraksi otot setelah penghinaan tidak langsung, lebih umum dalam olahraga tidak kontak, dan setelah trauma langsung, (Nikolaos G. Malliaropoulos, 2012).

Lesi terjadi pada lokasi benturan dari trauma otot langsung, ptpt todak langsung MTJ, atau pada perut. Kerusakan struktural pada serabut otot dapat disebabkan oleh efek kumulatif dari satu kontraksi atau beberapa kontraksi. Kontraksi eksentrik mungkin merupakan penyebab utama cedera sebagai akibat dari kekuatan yang lebih besar yang dihasilkan oleh kontraksi eksentrik dibandingkan dengan kontraksi isometrik atau konsentris. Kontraksi yang berlebihan berbahaya dan dapat menyebabkan nyeri otot yang tertunda, ketegangan otot, kerusakan tendon akut, penyalahgunaan gangguan tendon, dan ruptur tendon. Namun, latihan peregangan eksentrik dapat mencegah kerusakan otot pada unit tendon dengan meningkatkan kapasitas penyerapan stres otot. Ini juga mengurangi kekakuan otot dan viskoelastisitas sistem tendon otot. Penting untuk mempertimbangkan kondisi otot sistolik eksentrik. Fakta bahwa beberapa otot kurang kuat dalam posisi memendek dan mengembangkan kekuatan normal dalam ekstensi menunjukkan bahwa protokol peregangan harus direkomendasikan sebelum pemuatan eksentrik untuk mencegah peningkatan rasa sakit ini. Dan kehilangan kekuatan. Perubahan struktural dalam mekanisme kopling eksitasi-menyusut dan pengurangan kapasitansi juga dapat diamati. Pelatihan intensif dapat mencegah perubahan traumatis ini, seperti yang disebabkan oleh kontraksi eksentrik jangka pendek berulang yang menghasilkan adaptasi otot pelindung yang jelas. Pelatihan

eksentrik menghasilkan lebih banyak kekuatan daripada kontraksi isometrik dan konsentris, sehingga pelatihan eksentrik dapat membebani otot dan secara signifikan meningkatkan kekuatannya. Namun, pelatihan ini harus dilakukan dengan kecepatan yang meningkat untuk beban progresif.

Berdasarkan mekanisme trauma, kerusakan otot dapat dibagi secara langsung dan tidak langsung. Memar dari trauma langsung adalah akibat dari trauma langsung dari lawan atau perangkat yang berhubungan dengan olahraga. Cedera terjadi akibat benturan pada permukaan yang tajam. Potongan tidak lagi diklasifikasikan. Memar dapat dikategorikan sebagai ringan, sedang, dan berat, tergantung pada disfungsi yang ditimbulkannya. Atlet harus dinilai ulang 24 jam setelah trauma untuk menilai sifat cedera dengan lebih baik. Ini karena rasa sakit jika terjadi cedera dihilangkan dan lesi dapat ditaksir terlalu tinggi. Cedera traumatis tidak langsung tidak mempengaruhi lawan atau alat Anda. Cedera ini dibagi menjadi cedera non-struktural dan struktural.

Pada cedera non-struktural, serat otot tidak memiliki lesi yang terlihat secara anatomis. Kerusakan struktural merupakan lesi yang didefinisikan secara anatomis. Cedera non-struktural: Yang paling umum dan menyumbang 70% dari semua cedera otot pada pemain sepak bola. Lesi mungkin tidak mudah dikenali, tetapi mereka menyebabkan lebih dari 50% hari tanpa olahraga atau aktivitas atletik. Mengabaikannya dapat mengakibatkan kerusakan struktural. Cedera 1A disebabkan oleh kelelahan dan perubahan protokol pelatihan, permukaan lari, dan aktivitas intensitas tinggi. Cedera 1B dapat terjadi akibat kontraksi eksentrik yang berlebihan dan persisten. Cedera 2A terutama terkait dengan gangguan cedera tulang belakang yang sering salah didiagnosis, serta gangguan cakram ringan yang merangsang sumsum tulang belakang dan mengubah kontrol tonus otot di otot "target". Dalam hal ini, tujuan utamanya adalah untuk mengobati gangguan tulang belakang. Cedera 2B dihasilkan dari kontrol yang tidak seimbang dari sistem neuromuskuloskeletal, mekanisme penghambatan timbal balik yang dihasilkan dari spindel otot. Ketidakseimbangan dalam

mekanisme neuromuskular ini dapat mengganggu kontrol tonus otot dan menyebabkan kerusakan otot. Ini terjadi ketika sistem penekanan otot agonis berubah (menurun) dan otot agonis berkontraksi secara berlebihan untuk mengimbangnya. Ini terjadi ketika sistem penghambatan otot agonis diubah (berkurang), dan otot agonis berkontraksi secara berlebihan untuk kompensasi.

Cedera struktural: dibagi menjadi tiga sub-kelompok sesuai dengan entitas lesi di dalam otot. Sebuah Lesi tipe 3A adalah lesi parsial minor yang melibatkan satu atau lebih banyak fasikulus primer dalam berkas sekunder. Sebuah tipe Lesi 3B adalah lesi parsial sedang yang melibatkan setidaknya bundel sekunder, dengan kurang dari 50% dari permukaan kerusakan. Lesi tipe 4 adalah robekan sub-total dengan lebih dari 50% permukaan kerusakan atau robekan total otot, melibatkan otot perut atau musculotendinous persimpangan jalan.

#### *Fisiopatologi*

Tiga fase telah diidentifikasi dalam proses ini: penghancuran, perbaikan dan renovasi. Dua yang terakhir fase ini (perbaikan dan renovasi) tumpang tindih dan terkait erat.

Fase 1: terdiri dari penghancuran dan ditandai dengan robekan dan nekrosis selanjutnya dari miofibril, pembentukan hematoma di ruang yang dibuat pada robekan otot dan proliferasi sel inflamasi.

Fase 2: terdiri dari perbaikan dan remodeling, dengan fagositosis jaringan nekrotik, regenerasi jaringan miofibril dan produksi ikat secara bersamaan jaringan parut, bersama dengan neoformasi pembuluh darah dan pertumbuhan saraf.

Fase 3: terdiri dari remodeling, dengan pematangan miofibril yang diregenerasi, kontraksi dan reorganisasi jaringan parut dan pemulihan otot kapasitas fungsional.

### **KAITAN BCAA, SITRULIN, BROMELAIN DENGAN MUSCLE INJURY**

#### **1. Hubungan BCAA dengan Muscle Injury**

Sehubungan dengan hubungan antara kerusakan otot kelompok asupan BCAA menunjukkan hubungan positif yang kuat dengan LDH dan amonia, sementara itu memiliki negatif yang kuat

hubungan dengan FFA. Asupan BCAA dapat menurunkan konsentrasi serotonin, zat kelelahan sentral, selama latihan daya tahan, yang selanjutnya dapat mengurangi konsentrasi zat kerusakan otot seperti CK dan LDH dan meningkatkan kinerja olahraga; semakin tinggi konsentrasi amonia, semakin tinggi konsentrasi LDH. Oleh karena itu, asupan BCAA dianggap membantu berkontribusi untuk meningkatkan latihan kinerja dengan mengarahkan pengaruhnya pada muscle injury (Kim et al., 2013).

BCAA tidak dapat diproduksi oleh tubuh dan harus berasal dari asupan makanan. Asam amino ini sebagian besar dimetabolisme di otot rangka. Mengonsumsi makanan yang kaya BCAA dapat merangsang sintesis protein otot, mencegah pemecahan protein otot, dan mengurangi kerusakan otot akibat olahraga, sehingga menunda kelelahan. Berdasarkan hasil penelitian oleh Mardiana et al., (2021) mengenai identifikasi kadar LDH serum pada tikus wistar jantan yang diberi modifikasi, menunjukkan hasil analisis formulasi *sport drink* berbahan dasar tempe yang dipadukan dengan jus semangka dan/atau nanas terdapat perbedaan yang signifikan pada kandungan BCAA, sitrulin, protein, dan aktivitas antioksidan antar formulasi. Kemudian, kadar LDH plasma tikus pada 2 jam setelah intervensi secara signifikan lebih tinggi dibandingkan dengan kadar LDH plasma 24 jam setelah intervensi. Tikus yang diberi *sport drink* berbasis tempe dengan jus semangka dan jus nanas menunjukkan penurunan plasma yang signifikan.

Pada penelitian lainnya menjelaskan bahwa, Suplementasi BCAA tampaknya menjadi intervensi nutrisi yang menarik untuk mengurangi nyeri otot yang diinduksi RE. Kerusakan otot berkurang setelah suplementasi BCAA, itu tidak mencerminkan peningkatan fungsi otot (setidaknya dalam studi jangka pendek). Paradoksnya, meskipun RE, terutama kontraksi pemanjangan (eksentrik), dikaitkan dengan cedera otot, mereka juga dapat memberikan perlindungan yang signifikan terhadap kerusakan otot di masa depan dan sangat terlibat dalam proses hipertrofi. Namun, sedikit diketahui tentang kondisi yang menghasilkan

adaptasi protektif yang melibatkan efek pertarungan berulang dan peran suplementasi BCAA dalam konteks ini.

Penelitian di masa depan harus mencoba suplementasi BCAA kronis (dan bahkan asam amino lainnya) terhadap plasebo dengan beban nitrogen yang sama (protokol suplementasi isonitrogenous) untuk mengevaluasi kemungkinan dampak pada fungsionalitas otot dan menghubungkan efek tersebut dengan jalur molekuler yang terlibat dalam perbaikan otot dan regenerasi beban nitrogen yang sama (protokol suplementasi isonitrogenous) untuk mengevaluasi kemungkinan dampak pada fungsi otot dan menghubungkan efek tersebut dengan jalur molekuler yang terlibat dalam perbaikan dan regenerasi otot (da Luz et al., 2011).

## **2. Hubungan Sitrulin dengan Muscle Injury**

Hubungan asupan Sitrulin dengan muscle injury sebagai berikut :

- a) Asupan L-sitrulin dapat mengurangi kelelahan otot dan mempertahankan kontraktilitas otot untuk jangka waktu yang lebih lama dan meningkatkan kinerja latihan karena respon vasodilatasi dan efek aliran darah (Rhim et al., 2020).
- b) Konsumsi citrulline malate mengurangi sensasi kelelahan, meningkatkan tingkat produksi ATP oksidatif selama latihan dan tingkat pemulihan phosphocreatine setelah latihan, menunjukkan kontribusi yang lebih besar dari sintesis ATP oksidatif untuk produksi energi (Martínez-Sánchez et al., 2017)
- c) L-sitrulin dapat meningkatkan produksi energi aerobik, mengurangi persepsi kelelahan dan meningkatkan tingkat pemulihan (Martínez-Sánchez et al., 2017).

## **3. Hubungan Bromelain dengan Muscle Injury**

Bromelain memiliki efek terapeutik pada penyembuhan tendon, dan bromelain memiliki efek yang lebih baik pada proliferasi tenosit dan dapat menjadi pilihan untuk dipertimbangkan dalam pengelolaan cedera tendon akut (Aiyegbusi et al., 2011).

## **4. Efek Sampling**

Menurut beberapa penelitian yang telah dilakukan, bromelain aman bagi kebanyakan orang bila diminum dalam jumlah yang tepat. Bromelain dapat menyebabkan beberapa efek samping, seperti diare dan ketidaknyamanan perut dan usus. Bromelain juga dapat menyebabkan reaksi alergi, terutama pada orang yang memiliki alergi lain. Jika Anda memiliki alergi, pastikan untuk berkonsultasi dengan penyedia layanan kesehatan Anda sebelum mengambil bromelain.

## **SIMPULAN**

*Branched Chain Amino Acid* memiliki rantai cabang yang memiliki sifat khusus yang terbukti dapat memperbaiki dan memulihkan kelelahan otot. BCAA tidak dapat diproduksi oleh tubuh dan harus berasal dari asupan makanan. Asam amino ini sebagian besar dimetabolisme di otot rangka. Mengonsumsi makanan yang kaya BCAA dapat merangsang sintesis protein otot, mencegah pemecahan protein otot, dan mengurangi kerusakan otot akibat olahraga, sehingga menunda kelelahan. Konsumsi sitrulin yang diberikan selama tujuh hari maupun hanya sekali satu jam sebelum dilakukan tes latihan fisik mampu meningkatkan  $VO_{2max}$ , menunda kelelahan otot, dan mengurangi rasa nyeri otot pasca latihan. Bromelain adalah bahan alami yang kompleks campuran enzim proteolitik yang berasal dari nanas (*Ananas cosmosus*) dan memiliki sifat terapeutik yang menonjol. Nilai terapeutik potensial dari bromelain adalah karena sifat biokimia dan farmakologisnya, dan yang utama bahan dalam bromelain mentah adalah enzim proteolitik yang disebut glikoprotein, yang merupakan tambahan bahan yang tidak larut, seperti: mineral, pigmen berwarna, protease inhibitor, asam organik dan pelarut organik. bromelain adalah kombinasi kuat dari senyawa antioksidan dan anti-inflamasi quercetin, dan bromelain, enzim anti-inflamasi alami.

## **Daftar Pustaka**

Aiyegbusi, A.I., Olabiyi, O.O., Duru, F.I.O., Noronha, C.C., & Okanlawon, A.O., 2011. A Comparative Study of the Effects of

- Bromelain and Fresh Pineapple Juice on the Early Phase of Healing in Acute Crush Achilles Tendon Injury. *Journal of Medicinal Food*, 14(4), pp.348–352.
- Baker, L.B., Rollo, I., Stein, K.W., & Jeukendrup, A.E., 2015. Acute Effects of Carbohydrate Supplementation on Intermittent Sports Performance. *Nutrients*, 7(7).
- Brien, S., et al., 2004. Bromelain as a Treatment for Osteoarthritis: A Review of Clinical Studies. *Evidence Based Complementary and Alternative Medicine*, 1(3), pp.251–257.
- Chobotova, K., Vernallis, A.B., & Majid, F.A., 2010. Bromelain's Activity and Potential as An Anti-Cancer Agent: Current Evidence and Perspectives. *Cancer Letters*, 290(2), pp.148–56.
- Coombes, J.S., & Hamilton, K.L., 2000. The Effectiveness of Commercially Available Sports Drinks. *Sports Medicine*, 29(3), pp.181–209.
- Curis, E., et al., 2005. Almost All About Citrulline in Mammals. *Amino Acids*, 29, pp.177–205
- Cutrufello, P.T., Gadomski, S.J., & Zavorsky, G.S., 2015. The Effect of L-Citrulline and Watermelon Juice Supplementation on Anaerobic and Aerobic Exercise Performance. *J. Sports Sci.*, 33, pp.1459–1466.
- da-Luz, C.R., Nicastro, H., Zanchi, N.E., Chaves, D.F.S., & Lancha, A.H., 2011. Potential Therapeutic Effects of Branched-chain Amino Acids Supplementation on Resistance Exercise-based Muscle Damage in Humans. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 8, pp.2–5.
- FAO/WHO., 2013. Codex Alimentarius Commission Procedural Manual Twenty-first edition. *World Health Organization Food and Agriculture Organization of the United Nations*, 21.
- Fazlul, H., & Sarkar, Y.L., 2004. Cell Signaling Pathways Altered by Natural Chemopreventive Agents. *National Center for Biotechnology Information*, 555, pp.53–64.
- Fernandes, T.L., Pedrinelli, A., & Hernandez, A.J., 2011. Muscle Injury – Physiopathology, Diagnosis, Treatment and Clinical Presentation. *Revista Brasileira de Ortopedia (English Edition)*, 46(3), pp.247–255.

- Glenn, J.M., et al., 2017. Acute Citrulline Malate Supplementation Improves Upper and Lower-Body Submaximal Weightlifting Exercise Performance in Resistance-Trained Females. *Eur. J. Nutr.* 56, pp.775–784.
- Greer, B.K., White, J.P., Arguello, E.M., Haymes, E.M., 2011. Branched-chain Amino Acid Supplementation Lowers Perceived Exertion but Does Not Affect Performance in Untrained Males. *J. Strength Conditioning Res.*, 25 (2), pp.539e544.
- Guo, M., 2009. Sports Drinks. *Functional Foods*, 03, pp.279–298.
- Hsu, M.-C., Chien, K.-Y., Hsu, C.-C., Chung, C.-J., Chan, K.-H., & Su, B., 2011. Effects of BCAA, Arginine and Carbohydrate Combined Drink on Post-exercise Biochemical Response and Psychological Condition. *Chin. J. Physiol.* 54(2), pp.71e78.
- Jane, E.O., Paula, K.G., Brian, C., & L, P.H., 2008. Bromelain Treatment Decreases Secretion of Pro-inflammatory Cytokines and Chemokines by Colon Biopsies in Vitro. *National Center for Biotechnology Information*, 3(126), pp.52.
- Kanda, K., Sugama, K., Hayashida, H., et al., 2013. Eccentric Exercise-Induced Delayed-Onset Muscle Soreness and Changes in Markers of Muscle Damage and Inflammation. *Exerc Immunol Rev*, 19, pp.72-85.
- Kim, D.-H., Kim, S.-H., Jeong, W.-S., & Lee, H.-Y., 2013. Effect of BCAA Intake During Endurance Exercises on Fatigue Substances, Muscle Damage Substances, and Energy Metabolism Substances. *Journal of Exercise Nutrition and Biochemistry*, 17(4), pp.169–180.
- Lindsey, P.S., S, W.N., & B, M.P., 2013. Trends in US Home Food Preparation and Consumption: Analysis of National Nutrition Surveys and Time Use Studies from 1965–1966 to 2007–2008. *Nutrition Journal*, 24(12).
- López-cabral, J.A., et al., 2012. Modification of Fatigue Indicators Using Citrulline Malate for High Performance Endurance Athletes. *Rev. Latinoam. Patol. Clínica Med. Lab.* 59, pp.194–201
- Mardiana., Lestari, Y.N., & Farida, E., 2021. Identification of Idh

- Serum Levels in Male Wistar Rats that were Given a Modified Tempeh-Based Sports Drink. *Journal of Physical Education and Sport*, 21(4), pp.1822–1828.
- Martínez-Sánchez, A., Ramos-Campo, D.J., Fernández-Lobato, B., Rubio-Arias, J.A., Alacid, F., & Aguayo, E., 2017. Biochemical, Physiological, and Performance Response of a Functional Watermelon Juice Enriched in L-citrulline during a Half-marathon Race. *Food and Nutrition Research*, 61(1).
- Moinard, C., Nicolis, I., Neveux, N., Darquy, S., Bénazeth, S., & Cynober, L., 2008. Dose-Ranging Effects of Citrulline Administration on Plasma Amino Acids and Hormonal Patterns in Healthy Subjects: The Citrudose Pharmacokinetic Study. *British Journal of Nutrition*, 99(4), pp.855–862.
- Nikolaos, G.M., 2012. Non contact Hamstring Injuries in Sports. *National Center for Biotechnology Information*, 4(2), pp.309–311.
- O-A-Mialovyts'ka., 2003. Effect of Phlogenzym in Long-term Treatment of Patients with Multiple Sclerosis. *National Center for Biotechnology Information*, 13(109), pp.3–4.
- R-Pellicano., Strona, S., Simondi, D., Reggiani, S., Pallavicino, F., Sguazzini, C., Bonagura, A.G., Rizzetto, M., & Astegiano, M., 2009. Benefit of Dietary Integrators for Treating Functional Dyspepsia: A Prospective Pilot Study. *National Center for Biotechnology Information*, 3(55), pp.35.
- Rathnavelu, V., Alitheen, N.B., Sohila, S., Kanagesan, S., & Ramesh, R., 2016. Potential Role of Bromelain in Clinical and Therapeutic Applications (Review). *Biomedical Reports*, 5(3), pp.283–288.
- Rhim, H.C., Kim, S.J., Park, J., & Jang, K.M., 2020. Effect of Citrulline on Post-exercise Rating of Perceived Exertion, Muscle Soreness, and Blood Lactate Levels: A Systematic Review and Meta-analysis. *Journal of Sport and Health Science*, 9(6), pp.553–561.
- Rimando, A.M., & Perkins-veazie, P.M., 2005. Determination of Citrulline in Watermelon Rind. *J. Chromatogr*, A1078, pp.196–200.
- Shanely, R.A., Nieman, D.C., Perkins-Veazie, P., Henson, D.A.,

- Meaney, M.P., Knab, A.M., & Cialdell-Kam, L., 2016. Comparison of Watermelon and Carbohydrate Beverage on Exercise-Induced Alterations in Systemic Inflammation, Immune Dysfunction, and Plasma Antioxidant Capacity. *Nutrients*, 8(8), pp.1–14.
- Suzuki, T., Morita, M., Kobayashi, Y., & Kamimura, A., 2016. Oral L-citrulline Supplementation Enhances Cycling Time Trial Performance in Healthy Trained Men: Double-blind Randomized Placebo-controlled 2-way Crossover Study. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 13(1), pp.2–9.
- Takeda, K., Machida, M., Kohara, A., Omi, N., & Takemasa, T., 2011. Effects of Citrulline Supplementation on Fatigue and Exercise Performance in Mice. *J. Nutr. Sci. Vitaminol*, 57, pp.246– 250.
- Tarazona-Diaz, M., Alacid, F., Carrasco, M., Martinez, I., & Aguayo, E., 2013. Watermelon Juice: Potential Functional Drink for Sore Muscle Relief in Athletes. *J. Agric. Food Chem*, 61(31), pp.7522–7528.
- Urdampilleta, A., Vicente-Salar, N., & Martínez-Sanz, J.M., 2012. Necesidades Proteicas de los Deportistas y Pautas Dietético-nutricionales Para la Ganancia de Masa Muscular. *Revista Española de Nutrición Humana y Dietética*, 16(1), pp.25e35.