



MIKROBIOTA PADA ATLET BERDASARKAN KAPASITAS AEROBIK MAKSIMAL

Reqqi First Trasia¹, Zenia Maulivia Fadila²

Fakultas Kedokteran Universitas Sultan Ageng Tirtayasa¹, RS Hermina Tangerang²
reqqifirsttrasia@gmail.com, zeniafadila@gmail.com

Artikel Masuk:

06-11-2024

Artikel Disetujui:

11-01-2025

Publikasi:

27-02-2025

ABSTRAK

Peran utama kolonisasi mikroorganisme pada olahragawan dijalankan oleh mikrobiota saluran pencernaan. Komposisi mikrobiota juga dapat dipengaruhi oleh aktivitas fisik atau diet. Namun, masih sedikit artikel di Indonesia yang meninjau mikrobiota pada atlet. Oleh karena itu, tinjauan ini bertujuan untuk mengulas korelasi antara komposisi mikrobiota aktivitas fisik pada atlet, yang dapat meningkatkan kinerja olahraga mereka. Penelitian ini menggunakan metode *narrative literature review* dengan menyusun sebuah tinjauan atau rangkuman dari hasil-hasil penelitian yang telah dilakukan sebelumnya yaitu dari literasi atau jurnal yang mendukung dengan topik mengenai mikrobiota pada atlet berdasarkan kapasitas aerobik maksimal. Bakteri probiotik adalah strain bakteri hidup yang bila diberikan dalam jumlah tepat, akan bermanfaat bagi organisme inang. Sebagian besar data literatur menunjukkan sejumlah besar bakteri *Clostridiales*, seperti *Bacteroides*, *Lactobacillus*, *Bifidobacterium*, atau *Veillonella*. Namun, masih belum ada jawaban yang jelas spesies mana yang dominan mengkolonisasi saluran cerna atlet. Diversifikasi mikrobiota usus juga berubah tergantung pola makan yang dikonsumsi. Pola makan tinggi serat meningkatkan jumlah bakteri dari *genera Lactobacillus* dan *Bifidobacterium*, namun protein masih menjadi bahan pembangun massa otot yang paling penting.

Kata Kunci:

Mikrobiota, Atlet, Aerobik

PENDAHULUAN

Peran utama kolonisasi mikroorganisme pada olahragawan dijalankan oleh mikrobiota saluran pencernaan. Ini terdiri dari spesies milik lima filum: *firmicutes*, *bacteroides*, *actinobakteri*, *proteobacteria* dan *verrucomicrobia*. Selain itu, ada juga sebagian besar bakteri genus *cyano-bakteri*, *spirochaetes* dan mikroorganisme anaerob dari generasi: *eubacterium*, *bifidobacterium*, *clostridium*, *pepto-streptococcus* dan *ruminococcus*. Komposisi mikrobiota dipengaruhi oleh banyak faktor, seperti genetika, gaya hidup, terapi antibiotik, diet dan penyakit (Sánchez et al., 2017).

Bakteri simbiosis mulai menjajah organisme inang tak lama setelah lahir. Komunitas mikroba sederhana ini secara bertahap berkembang seiring tumbuhnya inang. Sistem host-mikroorganisme yang paling sering yaitu interaksi berdasarkan mutualisme (saling menguntungkan). Organisme inang memiliki kondisi yang menguntungkan untuk multiplikasi bakteri, sementara pengaruh mikrobiota pada tubuh manusia bahkan lebih besar. Sebenarnya, mikrobiota melindungi tubuh manusia dari patogen, mengambil ruang untuk masuk dan keberadaannya menjadi penghalang fisiologis untuk bakteri patogen, serta sering menghasilkan zat dengan sifat antibakteri (Mauro et al., 2013).

Peran mikrobiota gastrointestinal sejauh ini paling banyak ditinjau. Bakteri memecah nutrisi, memberi tubuh zat nutrisi yang esensial, merangsang perkembangan respons imun humoral dan seluler, memodulasi metabolisme, dan memasok tubuh dengan produk spesifik metabolisme bakteri. Selain itu, korelasi yang jelas ditemukan antara keberadaan dan komposisi mikrobiota gastrointestinal dan penyakit metabolik seperti obesitas, penyakit radang usus, sindrom metabolik, sirosis dan kanker hati. Disamping itu, komposisi mikrobiota juga dapat dipengaruhi oleh aktivitas fisik atau diet (Lozupone et al., 2012). Namun, masih sedikit artikel di Indonesia yang meninjau mikrobiota pada atlet. Oleh karena

itu, tinjauan ini bertujuan untuk mengulas korelasi antara komposisi mikrobiota aktivitas fisik pada atlet, yang dapat meningkatkan kinerja olahraga mereka.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode *narrative literature review*. Metode *narrative literature review* adalah salah satu metode untuk melakukan kajian literatur secara kualitatif. Metode ini bertujuan untuk menyusun sebuah tinjauan atau rangkuman dari hasil-hasil penelitian yang telah dilakukan sebelumnya yaitu dari literasi atau jurnal yang mendukung dengan topik mengenai mikrobiota pada atlet berdasarkan kapasitas aerobik maksimal sehingga peneliti dapat mengidentifikasi tema dan kesimpulan utama dari berbagai studi yang telah dilakukan sebelumnya.

PEMBAHASAN

Mikrobiota Dan Aktivitas Fisik

Laporan literatur terbaru menunjukkan hubungan yang erat antara komposisi mikrobiota usus dan tingkat aktivitas fisik. Terbukti bahwa pelatihan fisik memiliki dampak pada diferensiasi mikroorganisme kualitatif dan kuantitatif yang mampu menghasilkan butir, misal, bakteri dari ordo *Clostridiales* atau tipe *firmicutes*. Perubahan ini menciptakan penghalang alami yang mencegah bakteri patogenik menembus epitel usus (Durk et al., 2019).

Sebuah penelitian menganalisis mikrobiota atlet Irlandia (n = 37) dari 16 disiplin ilmu yang berbeda. Kelompok studi (disiplin) dibagi menjadi mereka yang memiliki dinamika latihan yang meningkat (berdasarkan VO₂ max) dan statis (diklasifikasikan menurut kontraksi isometrik maksimum). Sampel yang dianalisis menunjukkan adanya minimal satu spesies: *eubacterium rectale*, *Polynucleobacter prausnitzii*, *Bacteroides vulgatus* dan *Gordonibacter massiliensis*. Atlet yang mempraktikkan olahraga dengan dinamika tinggi, dalam komposisi mikrobiotanya memiliki peningkatan jumlah spesies seperti *Lactobacillus acidophilus*,

Prevotella Intermedia dan *Faecalibacterium prausnitzii*, sementara dalam kelompok orang yang mempraktikkan disiplin yang ditandai dengan dinamika tinggi dan statika, jumlah bakteri yang ditemukan meningkat seperti *Bacteroides Cakcae*. Selain itu, dalam tinja dan urin, peningkatan konsentrasi laktat ditemukan dalam kasus olahraga statis dan kreatinin dalam kasus olahraga dengan dinamika tinggi. Ini terjadi karena peningkatan rotasi otot dalam olahraga dinamis, yang menghasilkan peningkatan kadar kreatinin. Perbedaan-perbedaan ini dapat menunjukkan beberapa korelasi antara beban pelatihan dan komposisi mikroflora usus (O'Donovan et al., 2020).

Sebuah studi telah menunjukkan bahwa diantara orang-orang yang aktif secara fisik, dan dampak terbesar pada variabilitas spesies mikroorganisme yang membentuk mikrobiota usus dicapai dengan serapan oksigen maksimal yang dikenal sebagai kapasitas aerobik maksimal (VO₂ max), bukan berdasarkan usia, jenis kelamin, BMI atau diet seperti yang diperkirakan sebelumnya. Selain itu, peningkatan keragaman mikroorganisme dihasilkan dari sifatnya seperti kemampuan kemotaksis dan sporulasi atau partisipasi dalam biosintesis asam lemak. Dalam studi di Jepang yang dilakukan pada tikus, terbukti bahwa ada hubungan antara efisiensi kardiorespirasi yang tinggi dan peningkatan jumlah asam lemak rantai pendek (SCFA) (Estaki et al., 2016).

Peningkatan jumlah butirak dikaitkan dengan keberadaan bakteri dari ordo *clostridiales*, keluarga *lachnospiraceae* (genus *roseburia*) dan *erysipelotrichaceae*. Ditemukan bahwa mungkin ada hubungan antara VO₂ max dan beberapa sifat mikroorganisme, misalnya kemotaksis. Salah satu mekanisme yang mungkin disebabkan oleh fakta bahwa butirak, yang berlimpah pada orang dengan tingkat kebugaran kardiorespirasi yang lebih tinggi, memodulasi kemotaksis neutrofil. Juga dianggap bahwa jumlah maksimum oksigen

yang dikonsumsi oleh tubuh selama latihan intens (VO₂ max) berkorelasi terbalik dengan biosintesis *lipopolysaccharide* (LPS). LPS adalah elemen dari struktur dinding sel bakteri gram negatif, yang setelah memasuki aliran darah, menunjukkan sifat endotoksik. Ikatan LPS ke *toll like receptor 4* (TLR4) pada banyak jenis sel menyebabkan peradangan, yang merupakan tanda stimulasi sistem kekebalan tubuh. Aktivitas fisik mengurangi jumlah LPS dan merangsang sistem kekebalan tubuh. Sebuah studi menganalisis hubungan antara kapasitas kardiovaskular dan mikroflora usus pada wanita. Dalam penelitian ini, ditemukan bahwa dengan meningkatnya VO₂ max, rasio jumlah bakteri dari family *Firmicutes* dan genus *Bacteroides* meningkat. Dalam penelitian lain pada wanita pra-menopause, mereka yang memiliki VO₂ rendah menunjukkan pengurangan bakteri dan peningkatan jumlah *Eubacterium rectale* dan *Clostridium coccoides* (Matsumoto et al., 2008).

Temuan yang sangat menarik diperoleh dalam sebuah penelitian terhadap pelari maraton. Ditemukan perbedaan komposisi mikrobiota usus sebelum dan sesudah lari. Perbedaan tersebut terlihat pada bakteri dari famili *Coriobacteriaceae* dan *Succinivibrionaceae*, serta penurunan jumlah bakteri dari genera *Ezakiella*, *Romboutsia*, dan *Actinobacillus*, serta peningkatan jumlah bakteri dari genus *Coprococcus* dan *Ruminococcus bicirculans*. Scheimann et al melakukan penelitian diantara peserta maraton di Boston. Sampel diambil satu minggu sebelum dan sesudah dilakukan penelitian. Aktivitas fisik ternyata mengubah jumlah mikroorganisme penyusun mikrobiota saluran cerna, terutama bakteri dari genus *Veillonella*. Mikroorganisme ini mengubah piruvat menjadi laktat dan asetat melalui jalur metil malonil-KoA. Peningkatan kadar asam laktat, pada gilirannya, mendorong kolonisasi saluran pencernaan oleh bakteri dari genus *Veillonella* (Scheiman et al.,

2019).

Komposisi mikrobiota tergantung pada perbedaan VO₂ max. Spesies mikroorganisme berubah seiring dengan evolusi saluran cerna manusia, yang berarti bahwa diantara atlet yang memerlukan *endurance*, spesies yang akan mendominasi yakni *Lactobacillus acidophilus*, dan pada orang yang berlatih olahraga lari cepat yakni *Bacteroidescaccae*. Dengan tingkat VO₂max yang akan dicapai, maka komposisi mikrobiota akan berhubungan dengan berbagai disiplin ilmu olahraga (Mańkowska et al., 2022).

Mikrobiota Dan Olahraga

Hanya terdapat sedikit laporan mengenai hubungan antara mikrobiota usus dan berbagai disiplin ilmu olahraga. Penelitian ini sering kali berfokus pada orang-orang dengan aktivitas fisik rendah dan mereka yang melakukan olahraga amatir, yaitu dengan aktivitas fisik sesekali. Para peneliti mengkonfirmasi hubungan antara komposisi kualitatif dan kuantitatif mikrobiota gastrointestinal serta aktivitas fisik dan pola makan. Dalam sebuah studi oleh Clarke dkk. (2014) mengenai mikrobiota pemain rugby ditemukan bahwa pemain dengan indeks massa tubuh (BMI) tinggi memiliki bakteri genus *Akkermansia* yang lebih sedikit. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh pola makan tinggi protein yang dilakukan para atlet tersebut (Clarke et al., 2014).

(Petersen et al., 2017) mempelajari mikrobiota usus pengendara sepeda profesional dan amatir. Mereka menemukan bahwa semakin banyak kontestan berlatih, semakin besar proporsi bakteri *Prevotella* dalam mikro biota mereka. Mikroorganisme ini terlibat dalam metabolisme karbohidrat dan asam amino, termasuk asam amino rantai cabang (BCAA). *Methanobrevibacterismithii* yang memproduksi metana lebih sering berkoloni pada pengendara sepeda profesional. Keberadaan bakteri dari genus *Akkermansia* ditemukan pada sebagian besar atlet yang

diuji.

Pada pendayung dan pelari ultra-maraton, bakteri strain *Veillonella* ditemukan melimpah. Mikroorganisme ini menggunakan laktat sebagai satu-satunya sumber karbon dan bertanggungjawab atas konversi laktat menjadi piruvat seiring dengan bertambahnya waktu berjalan. Hasilnya, secara alami mengkatalisis proses enzimatik, yang menghasilkan *outcome* olahraga yang lebih baik. Binaragawan menunjukkan persentase bakteri dari genera *Faecalibacterium*, *Sutterella*, *Clostridium*, *Haemophilus*, dan *Eisenbergiella* yang lebih tinggi dibandingkan dengan pelari profesional. Jumlah bakteri yang termasuk dalam strain probiotik seperti *Bifidobacterium adolescentis*, *Bifidobacterium longum*, *Lactobacillus sakei* dan bakteri yang memproduksi asam lemak rantai pendek, seperti *Blantia wexlerae* atau *Eubacterium hallii*, juga terdeteksi dalam jumlah yang jauh lebih kecil.

Salah satu kemungkinan pemilihan mikroorganisme tersebut terkait dengan pola makan yang diterapkan. Bagi binaragawan, diet yang paling sering dilakukan adalah diet kaya protein dan lemak dengan kandungan karbohidrat rendah, sedangkan bagi atlet lain, diet rendah gula dan rendah serat. Hal ini menunjukkan bahwa partisipasi mikroorganisme terseleksi dalam metabolisme berbagai nutrisi (Jang et al., 2019).

Pengaruh Diet Olahraga Terhadap Mikrobioma

Pencapaian hasil olahraga terbaik bergantung pada persiapan motorik tubuh yang tepat dan pola makan seimbang yang tepat dengan kandungan unsur makro dan mikronutrien tertentu. Untuk pertumbuhannya, mikroorganisme juga memerlukan pasokan substrat metabolisme yang sesuai dan mengambil bagian dalam transformasi biokimia, yang menghasilkan berbagai produk seperti SCFA (Mohr et al., 2020).

Jenis mikroorganisme spesifik terlibat langsung dalam metabolisme komponen makanan tertentu. Bifidobacteria terlibat dalam memodulasi homeostasis usus, regulasi respon imun lokal dan sistemik serta melindungi perkembangan proses inflamasi. Ditambah pula mikroorganisme tersebut termasuk dalam kelompok bakteri penghasil asetat (*Bifidobacterium remaja*, *Blantia wexlerae*). Kelimpahan bakteri ini dengan adanya *Lactobacillus sakei* penghasil laktat dapat menyebabkan penurunan jumlah *Eubacteria* penghasil butirir. Bakteri ini menggunakan gliserol untuk menghasilkan zat antibakteri reuterin yang mengatur metabolisme mikroorganisme (Jang et al., 2019).

Sangat sulit untuk menunjukkan tempat dan peran mikroorganisme dalam metabolisme nutrisi seorang atlet, oleh karena itu analisis hubungan ini dalam pola makan tertentu dalam banyak kasus tidak seluruhnya dapat dibenarkan. Dalam diet para atlet, dianjurkan untuk mengonsumsi gula sederhana dalam jumlah besar. Ini untuk menyimpan jumlah glikogen maksimum. Hasilnya, konsentrasi glukosa darah selama latihan tetap terjaga pada tingkat yang tepat. Selain itu, kandungan serat makanan dan pati yang rendah dapat menyebabkan melemahnya gerak peristaltik usus, gangguan pergerakan usus dan perubahan keanekaragaman flora usus (Rodriguez et al., 2009).

Selain itu, seratlah yang mempengaruhi fermentasi protein di usus besar dan kelimpahan relatif mikroorganisme yang bertanggung jawab atas fermentasi proteolitik. Mengurangi jumlah serat dalam makanan akan mengurangi efek konsumsi protein dalam jumlah besar. Karbohidrat adalah sumber karbon pilihan bagi banyak mikroba usus. Fermentasi protein terjadi ketika kurang serat. Oleh karena itu, ketika menjalani diet tinggi protein, dianjurkan untuk mengonsumsi serat dalam jumlah besar, yang mengurangi porsi fermentasi proteolitik dalam metabolisme mikroflora

usus besar (Chassard & Lacroix, 2013).

Sumber nutrisi yang mencapai usus besar tidak hanya berbagai macam glukukan kompleks, termasuk polisakarida yang tidak tercerna (selulosa, hemiselulosa, lignin, pektin pati resisten, dan oligosakarida), tetapi juga gula sederhana, disakarida, musin, dan mukopolisakarida. Produk metabolisme karbohidrat mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap transformasi nutrisi lainnya. Beberapa bakteri pengkolonisasi anaerobik menggunakan fermentasi asam amino dan metabolit karbohidrat untuk menghasilkan energi. Asam amino yang berasal dari makanan atau yang dilepaskan dari sumber endogen dan mencapai usus besar dapat berfungsi sebagai sumber asam amino untuk fermentor protein (Kårlund et al., 2019).

Fermentasi mikroba asam amino dan karbohidrat di usus besar mengarah pada pembentukan precursor SCFA. Asetat, butirir dan piruvat akan terbentuk. Semuanya memiliki efek positif bagi tubuh atlet. Butirir digunakan sebagai sumber energi oleh kolonosit, sedangkan piruvat terlibat dalam regulasi hormonal. Asetat berpengaruh dalam mengurangi hipertensi. Fermentasi asam amino juga menghasilkan asam lemak rantai cabang seperti metil valerat, isovalerat, isobutirir, dan α -butirir. Mereka diakui sebagai biomarker fermentasi proteolitik yang andal. Pola makan kaya protein terutama berkontribusi pada pembentukan massa otot dalam tubuh. Namun, konsumsi berlebihan produk berprotein tinggi dapat menyebabkan akumulasi substrat nitrogen berlebih untuk bakteri pembusuk, yang produknya dimetabolisme: amonia, hidrogen sulfida, amina, tiol, dan indol. Seiring dengan pergerakan kandungan makanan, kandungan karbohidrat menurun, dan produk fermentasi protein menjadi semakin berbahaya. Konsumsi protein yang berlebihan dapat merusak DNA pada sel mukosa usus besar (Diether & Willing, 2019).

Pengaruh Probiotik Pada Mikrobioma Atlet

Negara pionir dalam menggunakan peneliti olahraga adalah Uni Soviet dan negara-negara Blok Timur. Penelitian dimulai dengan perlombaan luar angkasa dengan kosmonot kemudian beralih ke atlet, yang diteliti dan dianalisis dengan cermat oleh dokter medis, ahli fisiologi, ahli mikrobiologi, ahli diet, dan spesialis lainnya dengan menggunakan pendekatan yang sangat berbeda dari rekan-rekan mereka di Barat, di mana pelatih memberikan upaya paling besar pada pelatihan fisik atlet. Bakteri menguntungkan dalam pola makan para olahragawan telah diketahui sejak tahun 1950-an, jauh sebelum era doping mendominasi olahraga di seluruh dunia (Xue et al., 2017).

Bakteri probiotik adalah strain bakteri hidup yang bila diberikan dalam jumlah tepat, akan bermanfaat bagi organisme inang. Strain yang termasuk dalam generasi: *Bifidobacterium*, *Lactobacillus* dan bakteri asam laktat lainnya—*Lactococcus*, *Streptococcus* dan jamur dari genus *Saccharomyces* paling sering digunakan sebagai bakteri probiotik. Strain probiotik dapat mempengaruhi perubahan populasi mikroorganisme yang membentuk flora usus dan mengontrol fungsi ekosistem ini (Bagarolli et al., 2017).

Usus manusia adalah system tempat nutrisi, mikrobiota, dan selinang berinteraksi dalam berbagai cara. Hubungan antara mikroorganisme dan sel inang dapat bersifat negatif (patogenisitas, toksigenisitas, translokasi mikroorganisme) dan positif. Banyak penelitian menunjukkan bahwa konsumsi probiotik secara teratur dapat berdampak positif terhadap perubahan populasi dan struktur mikroflora usus. Akibatnya, fungsi sistem kekebalan berubah dan proliferasi sel epitel usus meningkat, yang sering terlihat pada orang yang aktif berolahraga. Kombinasi prebiotik, atau nutrisi yang difermentasi, termasuk fruktan dan oligosakarida, serta makanan yang diperkaya dengan strain *Lactobacillus* dan

Bifidobacterium dapat mengubah fungsi usus. Pemberian probiotik yang mengandung strain *Lactobacillus rhamnosus* kepada pasien mempunyai efek dalam menjaga berfungsinya jaringan limfoid, memodulasi respon sistem imun dan metabolisme lipid pada jaringan epitel usus (Jacouton et al., 2015).

Penelitian menunjukkan bahwa melengkapi pola makan atlet dengan probiotik sangatlah penting. Aktivitas fisik dan pola makan berkontribusi terhadap variasi yang lebih besar dalam komposisi flora usus pada atlet dibandingkan dengan orang yang menjalani gaya hidup *sedentary*. Selama aktivitas maksimal, aliran darah visceral dapat dikurangi hingga 80% untuk memastikan aliran darah yang cukup ke otot yang bekerja secara aktif.

Penelitian juga menegaskan adanya aliran permeabilitas usus saat berolahraga, yang mengakibatkan peningkatan risiko translokasi bakteri setelah berolahraga. Penelitian lain menunjukkan korelasi yang signifikan antara cedera susupasca olahraga dan rasio bakteri plasma terhadap total DNA bakteri, yang mencerminkan peningkatan translokasi bakteri. Sejumlah studi juga menunjukkan peningkatan penanda inflamasi setelah olahraga. Konsumsi probiotik dapat membantu mengurangi peradangan. Suplementasi probiotik atau prebiotik merangsang multiplikasi bakteri yang terkandung di dalamnya (*Bifidobacterium*, *Lactobacillus*) dan dapat meningkatkan metabolisme serta meningkatkan kekebalan tubuh. Penggunaan sediaan probiotik mengurangi tingkat zonulin—modulator permeabilitas usus (Chantler et al., 2021).

Konsumsi sediaan probiotik yang mengandung strain berikut: *Bifidobacterium bifidum*, *Bifidobacterium lactis*, *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus brevis*, dan *Lactococcus lactis* membantu menjaga keseimbangan redoks dan mengurangi kerentanan terhadap inflamasi pada orang yang menjalani latihan fisik. Meskipun mekanisme interaksi ini belum

dapat dijelaskan, hal ini kemungkinan disebabkan oleh interaksi langsung antara mikrobiota usus, sistem kekebalan dalam selaput lendir, dan modulasi fungsi makrofag paru dan limfosit T. Hasil penelitian yang dilakukan pada pelari jarak jauh menunjukkan adaptasi system pernapasan mereka yang lebih baik terhadap aktivitas fisik setelah menggunakan probiotik. Hal ini disebabkan oleh efek pada IFN- α yang menstimulasi enzim yang terlibat dalam katabolisme tryptophan-indoleamine 2,3- dioxygenase (Strasser et al., 2016).

Hanya ada sedikit data mengenai pengaruh probiotik pada mikrobiota usus dalam tubuh atlet. Melengkapi pola makan atlet dengan berbagai spesies bakteri probiotik mungkin diperlukan untuk menjaga fungsi *gut-brain axis* dengan baik. Aspek psikologis dari olahraga telah menjadi subyek banyak penelitian hingga saat ini. Jelasnya, untuk menjadi seorang pemenang, seorang atlet tidak hanya harus memiliki fisik yang kuat, tetapi juga persiapan mental yang sangat baik. Pengaruh mikrobiota usus pada kesejahteraan psikologis adalah aspek lain yang memerlukan penelitian lebih luas di bidang olahraga. Mikroflora usus mempengaruhi banyak aspek biologi manusia. Oleh karena itu, menetapkan pola makan yang mengandung bakteri probiotik untuk atlet harus menjadi subjek penelitian lebih lanjut (Mańkowska et al., 2022).

Bakteriofaga, virus yang secara khusus menginfeksi dan membunuh bakteri, dapat dijadikan contoh dalam mikrobioma manusia. Singkatnya, faga adalah salah satu entitas yang paling banyak jumlahnya di bumi. Penelitian terkait bakteriofaga berfokus terutama pada pengguna antiterapeutik bakteriofaga, dan terdapat kesenjangan pengetahuan yang besar mengenai pengaruh faga terhadap kinerja organisme. Perlu dicatat bahwa faga sebagai predator bakteri spesifik menginfeksi sel yang rentan dan mempengaruhi komunitas bakteri di usus manusia. Pengurangan

spesies bakteri tertentu dapat mendorong pertumbuhan bakteri lain yang dapat mempengaruhi secara langsung komposisi mikrobioma. Pencarian hubungan antara komposisi fagom dan olahraga memerlukan penelitian lebih lanjut (Grygorcewicz et al., 2021).

KESIMPULAN

Metode biologi molekuler modern adalah alat diagnostik yang memungkinkan kita mempelajari mekanisme pada tingkat mikroorganisme yang secara langsung mempengaruhi fungsi tubuh manusia. Sebagian besar data literatur menunjukkan sejumlah besar bakteri *Clostridiales*, seperti *Bacteroides*, *Lactobacillus*, *Bifidobacterium*, atau *Veillonella*. Namun, masih belum ada jawaban yang jelas spesies mana yang dominan mengkolonisasi saluran cerna atlet. Diversifikasi mikrobiota usus juga berubah tergantung pola makan yang dikonsumsi. Pola makan tinggi serat meningkatkan jumlah bakteri dari genera *Lactobacillus* dan *Bifido bacterium*, namun protein masih menjadi bahan pembangun massa otot yang paling penting. Mikroorganisme yang terlibat dalam metabolisme atlet, antara lain bakteri dari genus *Clostridium* dan *Veillonella*, yang peningkatannya diamati pada pelari maraton. Terlepas dari laporan sejumlah penulis tentang mikrobiota saluran cerna pada atlet, masih sulit untuk secara jelas menghubungkan komposisi flora bakteri dan disiplin olahraga dengan pola makan. Menentukan korelasi di antara keduanya dapat menjadi indikator penting yang memungkinkan olahragawan mencapai hasil yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

Bagarolli, R. A., Tobar, N., Oliveira, A. G., Araújo, T. G., Carvalho, B. M., Rocha, G. Z., Vecina, J. F., Calisto, K., Guadagnini, D., Prada, P. O., Santos, A., Saad, S. T. O., & Saad, M. J. A. (2017). Probiotics modulate gut microbiota and improve insulin

- sensitivity in DIO mice. *Journal of Nutritional Biochemistry*, 50, 16–25. <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2017.08.006>
- Chantler, S., Griffiths, A., Matu, J., Davison, G., Jones, B., & Deighton, K. (2021). The Effects of Exercise on Indirect Markers of Gut Damage and Permeability: A Systematic Review and Meta-analysis. In *Sports Medicine* (Vol. 51, Issue 1, pp. 113–124). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. <https://doi.org/10.1007/s40279-020-01348-y>
- Chassard, C., & Lacroix, C. (2013). Carbohydrates and the human gut microbiota. In *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care* (Vol. 16, Issue 4, pp. 453–460). <https://doi.org/10.1097/MCO.0b013e3283619e63>
- Clarke, S. F., Murphy, E. F., O’Sullivan, O., Lucey, A. J., Humphreys, M., Hogan, A., Hayes, P., O’Reilly, M., Jeffery, I. B., Wood-Martin, R., Kerins, D. M., Quigley, E., Ross, R. P., O’Toole, P. W., Molloy, M. G., Falvey, E., Shanahan, F., & Cotter, P. D. (2014). Exercise and associated dietary extremes impact on gut microbial diversity. *Gut*, 63(12), 1913–1920. <https://doi.org/10.1136/gutjnl-2013-306541>
- Diether, N. E., & Willing, B. P. (2019). Microbial fermentation of dietary protein: An important factor in diet–microbe–host interaction. In *Microorganisms* (Vol. 7, Issue 1). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/microorganisms7010019>
- Durk, R. P., Castillo, E., Márquez-Magaña, L., Grosicki, G. J., Bolter, N. D., Matthew Lee, C., & Bagley, J. R. (2019). Gut microbiota composition is related to cardiorespiratory fitness in healthy young adults. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 29(3), 249–253. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.2018-0024>
- Estaki, M., Pither, J., Baumeister, P., Little, J. P., Gill, S. K., Ghosh, S., Ahmadi-Vand, Z., Marsden, K. R., & Gibson, D. L. (2016). Cardiorespiratory fitness as a predictor of intestinal microbial diversity and distinct metagenomic functions. *Microbiome*, 4(42), 1–13. <https://doi.org/10.1186/s40168-016-0189-7>
- Grygorcewicz, B., Wojciuk, B., Roszak, M., Łubowska, N., Blstrokaejczak, P., Jursa-Kulesza, J., Rakoczy, R., Masiuk, H., & Dogowska, B. (2021). Environmental Phage-Based Cocktail and Antibiotic Combination Effects on *Acinetobacter baumannii* Biofilm in a Human Urine Model. *Microbial Drug Resistance*, 27(1), 25–35. <https://doi.org/10.1089/mdr.2020.0083>
- Jacouton, E., Mach, N., Cadiou, J., Lapaque, N., Clément, K., Doré, J., Van Hylckama Vlieg, J. E. T., Smokvina, T., Blottière, H. M., & La Pointe, G. (2015). *Lactobacillus rhamnosus* CNCMI-4317 Modulates Fiaf/Angpt14 in Intestinal Epithelial Cells and Circulating Level in Mice. *PLoS ONE*, 10(10). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0138880>
- Jang, L. G., Choi, G., Kim, S. W., Kim, B. Y., Lee, S., & Park, H. (2019). The combination of sport and sport-specific diet is associated with

- characteristics of gut microbiota: An observational study. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 16(1). <https://doi.org/10.1186/s12970-019-0290-y>
- Kårlund, A., Gómez-Gallego, C., Turpeinen, A. M., Palo-Oja, O. M., El-Nezami, H., & Kolehmainen, M. (2019). Protein supplements and their relation with nutrition, microbiota composition and health: Is more protein always better for sportspeople? In *Nutrients* (Vol. 11, Issue 4). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/nu11040829>
- Lozupone, C. A., Stombaugh, J. I., Gordon, J. I., Jansson, J. K., & Knight, R. (2012). Diversity, stability and resilience of the human gut microbiota. In *Nature* (Vol. 489, Issue 7415, pp. 220–230). <https://doi.org/10.1038/nature11550>
- Mańkowska, K., Marchelek-Myśliwiec, M., Kochan, P., Kosik-Bogacka, D., Konopka, T., Grygorcewicz, B., Roszkowska, P., Cecerska-Heryć, E., Siennicka, A., Konopka, J., & Dołęgowska, B. (2022). Microbiota in sports. In *Archives of Microbiology* (Vol. 204, Issue 8). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. <https://doi.org/10.1007/s00203-022-03111-5>
- Matsumoto, M., Inoue, R., Tsukahara, T., Ushida, K., Chiji, H., Matsubara, N., & Hara, H. (2008). Voluntary running exercise alters microbiota composition and increases n-butyrate concentration in the rat cecum. *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry*, 72(2), 572–576. <https://doi.org/10.1271/bbb.70474>
- Mauro, A. Di, Neu, J., Riezzo, G., Raimondi, F., Martinelli, D., Francavilla, R., & Indrio, F. (2013). Gastrointestinal function development and microbiota. *Italian Journal of Pediatrics*, 39(15), 1–7. <http://www.ijponline.net/content/39/1/15>
- Mohr, A. E., Jäger, R., Carpenter, K. C., Kerksick, C. M., Purpura, M., Townsend, J. R., West, N. P., Black, K., Gleeson, M., Pyne, D. B., Wells, S. D., Arent, S. M., Kreider, R. B., Campbell, B. I., Bannock, L., Scheiman, J., Wissent, C. J., Pane, M., Kalman, D. S., ... Antonio, J. (2020). The athletic gut microbiota. In *Journal of the International Society of Sports Nutrition* (Vol. 17, Issue 1). BioMed Central Ltd. <https://doi.org/10.1186/s12970-020-00353-w>
- O'Donovan, C. M., Madigan, S. M., Garcia-Perez, I., Rankin, A., O'Sullivan, O., & Cotter, P. D. (2020). Distinct microbiome composition and metabolome exists across subgroups of elite Irish athletes. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 23(1), 63–68. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2019.08.290>
- Petersen, L. M., Bautista, E. J., Nguyen, H., Hanson, B. M., Chen, L., Lek, S. H., Sodergren, E., & Weinstock, G. M. (2017). Community characteristics of the gut microbiomes of competitive cyclists. *Microbiome*, 5(1). <https://doi.org/10.1186/s40168-017-0320-4>
- Rodriguez, N. R., DiMarco, N. M., & Langley, S. (2009). Position of the American Dietetic Association, Dietitians of Canada, and the American College of Sports Medicine:

- Nutrition and athletic performance. *Journal of the American Dietetic Association*, 109(3), 509–527. <https://doi.org/10.1016/j.jada.2009.01.005>
- Sánchez, B., Delgado, S., Blanco-Míguez, A., Lourenço, A., Gueimonde, M., & Margolles, A. (2017). Probiotics, gut microbiota, and their influence on host health and disease. In *Molecular Nutrition and Food Research* (Vol. 61, Issue 1). Wiley-VCH Verlag. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201600240>
- Scheiman, J., Luber, J. M., Chavkin, T. A., MacDonald, T., Tung, A., Pham, L. D., Wibowo, M. C., Wurth, R. C., Punthambaker, S., Tierney, B. T., Yang, Z., Hattab, M. W., Avila-Pacheco, J., Clish, C. B., Lessard, S., Church, G. M., & Kostic, A. D. (2019). Meta-omics analysis of elite athletes identifies a performance-enhancing microbe that functions via lactate metabolism. *Nature Medicine*, 25(7), 1104–1109. <https://doi.org/10.1038/s41591-019-0485-4>
- Strasser, B., Gostner, J. M., & Fuchs, D. (2016). Mood, food, and cognition: Role of tryptophan and serotonin. In *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care* (Vol. 19, Issue 1, pp. 55–61). Lippincott Williams and Wilkins. <https://doi.org/10.1097/MCO.0000000000000237>
- Xue, L., He, J., Gao, N., Lu, X., Li, M., Wu, X., Liu, Z., Jin, Y., Liu, J., Xu, J., & Geng, Y. (2017). Probiotics may delay the progression of nonalcoholic fatty liver disease by restoring the gut microbiota structure and improving intestinal endotoxemia. *Scientific Reports*, 7. <https://doi.org/10.1038/srep45176>