

Peran H^+ dalam Menimbulkan Kelelahan Otot: Pengaruhnya pada Sediaan Otot Rangka *Rana Sp*

Fanny Septiani F,* Ermita I. Ilyas,** Mohamad Sadikin***

*Program Magister Ilmu Biomedik, Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia, Jakarta

**Departemen Fisiologi, Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia, Jakarta

***Departemen Biokimia dan Biologi Molekuler, Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia, Jakarta

Abstrak: Kelelahan (*fatigue*) adalah suatu fenomena fisiologis terjadinya penurunan toleransi terhadap kerja fisik. Beberapa pendapat menyatakan penumpukan laktat berperan dalam kelelahan. Kerja otot memerlukan hidrolisis ATP dalam jumlah besar dan dalam proses ini dihasilkan ion H^+ . Peningkatan intensitas kerja otot, mengakibatkan peningkatan akumulasi ion H^+ . Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menilai pengaruh H^+ dan laktat terhadap timbulnya kelelahan otot. Penelitian ini menggunakan 3 kelompok perlakuan. Otot *gastrocnemius Rana sp* direndam dalam larutan perlakuan yang berbeda yaitu natrium laktat (kelompok 1), asam laktat (kelompok 2) dan asam sitrat (kelompok 3) selama 30 menit. Otot yang telah direndam kemudian dirangsang dengan kontraksi submaksimal dengan frekuensi 5 Hz. Gambaran kontraksi direkam dengan menggunakan mekanomiogram. Kelelahan ditentukan saat mulai terjadi penurunan kekuatan kontraksi 50%. Cepatnya timbul kelelahan dilihat dari waktu mulainya stimulus sampai timbul kelelahan. Data dianalisis dengan uji ANOVA. Dari penelitian diketahui terdapat perbedaan yang bermakna antara waktu kelelahan yang ditimbulkan oleh sodium laktat, asam laktat dan asam sitrat ($P < 0,05$). Pada kelompok dengan asam laktat dan asam sitrat kelelahan timbul lebih cepat daripada kelompok dengan laktat. Dapat disimpulkan bahwa H^+ dan bukan ion laktat yang merupakan penyebab timbulnya kelelahan otot pada otot rangka *Rana sp*.

Kata kunci: Kelelahan, natrium laktat, asam laktat, asam sitrat, H^+

The Role of H⁺ in Emerging Muscle Fatigue: Its Influence in Skeletal - Muscle of *Rana Sp*

Fanny Septiani F,* Ermita I. Ilyas,** Mohamad Sadikin***

*Magister Programe, Biomedic science, Faculty of Medicine, University of Indonesia, Jakarta

**Departement of Physiology, Faculty of Medicine, University of Indonesia, Jakarta

***Departement of Biochemistry and Molecular Biology, Faculty of Medicine,
University of Indonesia, Jakarta

Abstract: Fatigue describes a condition in which a muscle is no longer able to generate or sustain the expected power output. Some suggested that lactic acid accumulation play a role in fatigue. On the other hand, an increase in concentration of hydrogen ions and a decrease in pH (increase in acidity) within muscle or plasma, causes fatigue. The aim of the present study was designed to evaluate the role of H⁺ and lactate in causing muscle fatigue. *Gastrocnemius* muscle of *Rana sp* is divided into 3 groups, and each group consists of 9 muscles. Each group is submerged in 3 different types of solution. Isotonic solution + Sodium lactate (group 1), isotonic solution + lactic acid (group 2) and isotonic solution + citric acid (group 3) for 30 minutes. The muscle is being stimulated using a stimulator in submaximum contraction with frequency 5 Hz. The duration of fatigue is observed from the initiation of contraction until 50% reduction of the muscle contraction. Data is analyzed with ANOVA. The result of analysis showed that there were statistical differences on duration of fatigue between sodium lactate and lactic acid, between lactic acid and citric acid, and between lactic acid and citric acid ($p < 0,05$). It was concluded that H⁺ accumulation plays a big role in emerging muscle fatigue.

Keywords: Muscle fatigue, sodium lactate, lactic acid, citric acid, H⁺

Pendahuluan

Kelelahan (*fatigue*) adalah suatu fenomena fisiologis, suatu proses terjadinya keadaan penurunan toleransi terhadap kerja fisik. Penyebabnya sangat spesifik bergantung pada karakteristik kerja tersebut. Penyebab kelelahan dapat ditinjau dari aspek anatomi berupa kelelahan sistem saraf pusat, neuromuskular dan otot rangka, dan dari aspek fungsi berupa kelelahan elektrokimia, metabolik, berkurangnya substrat energi, hiper/hipotermia dan dehidrasi.¹

Terdapat beberapa pendapat yang menjelaskan timbulnya kelelahan otot, di antaranya 1). Penimbunan asam laktat merupakan penyebab timbulnya kelelahan otot.²⁻³ 2). Akibat penimbunan H⁺ bebas yang berasal dari hasil Hidrolisis ATP dan glikolisis anaerob pada otot yang berolahraga.⁴⁻⁶

ATP merupakan satu-satunya sumber energi yang dapat secara langsung digunakan untuk aktivitas otot. ATP harus terus menerus tersedia agar aktivitas kontraksi dapat berlanjut. Di jaringan otot, ATP yang tersedia terbatas, meskipun begitu, ada tiga jalur yang dapat memasok ATP sesuai keperluan selama kontraksi otot, yaitu sistem

fosfagen, glikolisis anaerob dan fosforilasi oksidatif.²

Pada olahraga dengan intensitas tinggi dan durasi singkat, pemenuhan kebutuhan energi meningkat hampir 100 kali lipat. Fosforilasi oksidatif tidak mampu menghasilkan energi yang besar dalam waktu singkat, sehingga pemenuhan kebutuhan energi pada olahraga jenis ini bergantung pada sistem fosfagen dan glikolisis anaerob. Sistem fosfagen hanya dapat menyediakan energi untuk aktivitas dengan rentang waktu di bawah 10 detik, sehingga glikolisis anaerobik merupakan jalur metabolisme utama pada olahraga dengan intensitas tinggi. Namun jalur metabolisme glikolisis anaerob ini menghasilkan produk samping yaitu asam laktat. Peningkatan ketergantungan energi dari glikolisis anaerob menyebabkan terjadinya akumulasi asam laktat. Penimbunan asam laktat, menurut sebagian peneliti menyebabkan kelelahan otot yang timbul ketika olahraga intensif sedang berlangsung.²⁻³

Pada pendapat kedua, dinyatakan bahwa asam laktat bukanlah faktor penyebab kelelahan otot. Pada peningkatan intensitas olahraga, energi terutama didapatkan dari hasil hidrolisis ATP ($ATP \rightarrow ADP + Pi + H^+$ + Energi) dan glikolisis anaerob. Kedua proses ini menghasilkan H⁺ bebas. Dengan

makin meningkatnya intensitas dan kebutuhan akan ATP, maka proses glikolisis anaerob dan ATP hidrolisis semakin meningkat. Pada kondisi ini, terjadi peningkatan konsentrasi ion H⁺ yang berasal dari proses glikolisis anaerob dan hidrolisis ATP, dan jika kapasitas dapar dari sel terlampaui maka akumulasi H⁺ bebas tersebut akan menimbulkan kelelahan otot.⁶

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui faktor manakah yang lebih berperan (H⁺ atau ion laktat) terhadap terjadinya kelelahan otot. Pengetahuan tersebut akan sangat berguna di bidang olahraga. Dengan mengetahui faktor tersebut maka dapat ditentukan strategi untuk menunda timbulnya kelelahan otot pada olahraga.

Metode

Penelitian ini merupakan studi eksperimental terhadap timbulnya kelelahan otot yang terjadi pada otot *gastrocnemius Rana sp.* Pengamatan dilakukan terhadap 3 kelompok perlakuan dengan menggunakan larutan yang berbeda-beda. Otot *gastrocnemius* katak dibagi menjadi 3 kelompok yang masing-masing terdiri atas 9 sediaan otot. Tiap otot direndam selama 30 menit dengan larutan yang berbeda. Larutan 1 merupakan larutan isotonik yang mengandung natrium laktat (pH 7,2), larutan 2 merupakan larutan isotonik yang mengandung asam laktat (pH 3,8) dan larutan 3 merupakan larutan isotonik yang mengandung asam sitrat (pH 3,8). Kontraksi otot direkam dengan menggunakan mekanomiogram. Perekaman ini dilakukan di Laboratorium Fisiologi, Fakultas Kedokteran Hewan Institut Pertanian Bogor. Untuk menimbulkan kontraksi digunakan stimulator. Pada penelitian ini frekuensi yang digunakan adalah 5 Hz. Setelah ditentukan rangsang submaksimal, dilakukan stimulasi dengan rangsangan berulang. Rangsangan dihentikan ketika telah tercapai penurunan amplitudo kontraksi sebanyak 50%. Proses yang sama dilakukan dengan perlakuan larutan yang berbeda yaitu natrium laktat, asam laktat dan asam sitrat. Jangka waktu yang diperlukan untuk menimbulkan kelelahan dihitung sejak stimulasi pertama sampai terjadinya penurunan amplitudo kontraksi sebanyak 50% untuk pertama kali, dinyatakan dalam satuan detik. Semakin panjang periode kelelahan maka semakin lambat terjadi kelelahan.

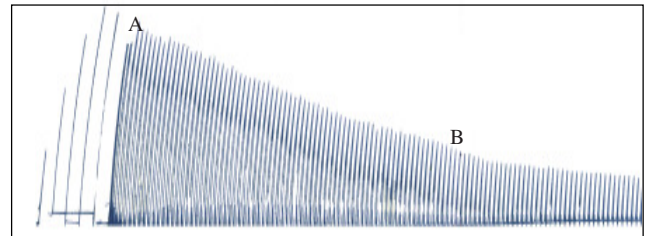
Komposisi larutan yang digunakan tercantum dalam tabel 1 berikut ini:

Tabel 1. Komposisi Larutan

Larutan (Natrium laktat)	Larutan II (Asam laktat)	Larutan III (Asam sitrat)
Natrium laktat 1,55 g	As.laktat 0,00116ml/L	Asam sitrat 1,449 g
Kalium klorida 0,15 g	Kalium klorida 0,15 g	Kalium klorida 0,15 g
Natrium klorida 3,0 g	Natrium klorida 3,0 g	Natrium klorida 3,0 g
Kalsium klorida 2H ₂ 0,1 g	Kalsium klorida 2H ₂ 0,1 g	Kalsium klorida 2H ₂ 0,1 g
Aquades 500 ml	Aquades 500 ml	Aquades 500 ml

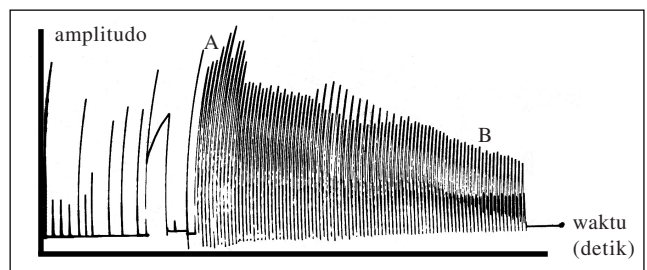
Hasil

Gambaran mekanomiogram otot *gastrocnemius* dalam kondisi biasa (larutan fisiologis) disajikan pada gambar 1. Pada gambar terlihat bahwa awal kontraksi berada pada titik A dan penurunan amplitudo kontraksi sebanyak 50% ditandai dengan titik B.



Gambar 1. Hasil Perekaman Mekanomiogram. Panah A Menunjukkan Awal Kontraksi (submaksimal). Panah B Menunjukkan Penurunan Kekuatan Kontraksi yang Ditunjukkan dengan Penurunan Tinggi Gambaran Mekanomiogram Sebanyak 50% dari Tinggi Awal Panah A. Waktu Kelelahan Dihitung dari A-B.

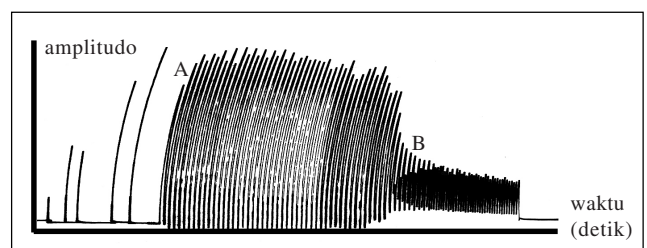
1. Hasil Perekaman Mekanomiogram dengan Larutan Natrium Laktat



Gambar 2. Hasil Perekama dengan Perendaman Natrium Laktat

Pada gambar 2 tampak bahwa pada penggunaan pH 7,2 kelelahan timbul setelah 49,9 ± 7,21 detik. Titik A merupakan awal stimulus dan titik B merupakan penurunan kekuatan kontraksi yang ditandai dengan penurunan tinggi amplitudo sebanyak 50%. Penurunan gambaran kontraksi terlihat gradual

2. Hasil perekaman mekanomiogram dengan perendaman asam laktat



Gambar 3. Hasil Rekaman Kontraksi Otot yang Diberi Rendaman Asam Laktat