

Proses Neurobiologis Dalam Pembentukan *Muscle Memory*: Tinjauan Pustaka Naratif

Yuliana^{1*}

¹Fakultas Kedokteran Universitas Udayana.

*Corresponding author :

Penerbit

FKIP Universitas Timor, NTT-Indonesia

ABSTRAK

Muscle memory memungkinkan tubuh mengingat dan mengulangi gerakan tertentu secara otomatis. Proses pembentukan *muscle memory* memerlukan proses neurobiologis yang kompleks, namun belum diketahui secara rinci. Tujuan penulisan adalah mengetahui lebih lanjut bagaimana proses neurobiologis dalam pembentukan *muscle memory*. Tulisan ini merupakan tinjauan pustaka naratif. Artikel dipilih dari jurnal terbitan *Science Direct*, *Google Scholar*, dan *PubMed* dengan terbitan 10 tahun terakhir. Hasil telaah pustaka menunjukkan bahwa proses neurobiologis dalam pembentukan *muscle memory* melibatkan sistem saraf pusat dan perifer, serta adaptasi neuronal dan sinaptik. Cortex motorik, basal ganglia, dan sumsum tulang belakang terlibat secara aktif dalam pembentukan *muscle memory*. Tahapan pembentukan *muscle memory* terbagi dalam tiga tahap, yaitu akuisisi (pemrosesan informasi sensorik dan motorik untuk membentuk gerakan baru), konsolidasi (perpindahan dari memori jangka pendek ke jangka panjang melalui neuroplastisitas), serta retensi memori (pengaktifan pola gerakan yang berhasil dikonsolidasi). Neurotransmitter seperti dopamin dan asetilkolin memainkan peran penting dalam modulasi proses neurobiologis yang terkait dengan *muscle memory*. Selain itu, faktor neurotropik seperti BDNF (*Brain-Derived Neurotrophic Factor*) juga berperan dalam mendukung neuroplastisitas dan pembentukan *muscle memory*. Kesimpulan: proses neurobiologis dalam pembentukan *muscle memory* melibatkan sistem saraf pusat dan perifer, neurotransmitter, dan faktor neurotropik.

Kata kunci: Muscle Memory, Neurobiologi, Neuroplastisitas, Neurotransmitter, Retensi Memori



This PSH : Prosiding Pendidikan Sains dan Humaniora is licensed under a CC BY-NC-SA ([Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/))

PENDAHULUAN

Kemampuan fisik diperlukan untuk kelangsungan hidup manusia serta kinerja di berbagai bidang, termasuk namun tidak terbatas pada olahraga, musik, tari, dan aktivitas yang merupakan bagian dari kehidupan sehari-hari. Koordinasi otot, sendi, dan sistem saraf seseoranglah yang memungkinkan mereka berjalan, berlari, melompat, dan melakukan tindakan rumit lainnya. Mempelajari bakat fisik baru dan menjadi mahir membutuhkan banyak waktu, latihan, dan pengalaman. Di sisi lain, setelah suatu bakat dipelajari, seringkali dapat direplikasi tanpa usaha atau pikiran sadar setelah dikuasai. Memori otot (*muscle memory*) adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan fenomena ini (Pujari, 2019).

Pembentukan *muscle memory* penting untuk mengingat dan mengulangi gerakan atau pola gerakan tertentu tanpa perlu banyak berpikir. Sistem saraf memainkan peran krusial dalam mengembangkan *muscle memory* dengan mengintegrasikan informasi sensorik dan motorik untuk membentuk pola gerakan yang efisien. Penelitian telah menunjukkan bahwa sistem saraf pusat, termasuk korteks motorik, ganglia basal, dan serebelum, terlibat dalam proses pembelajaran motorik dan pembentukan *muscle memory* (Pujari, 2019).

Kemampuan untuk menduplikasi keterampilan fisik secara otomatis timbul karena adanya "memori otot" (*muscle memory*). Bakat tersebut tersimpan di dalam otot itu. Hal ini memungkinkan seseorang untuk menyelesaikan tugas dengan presisi dan lancar, bahkan setelah mereka tidak aktif dalam waktu yang lama. *Muscle memory* merupakan faktor penting dalam kemampuan untuk melakukan gerakan dengan cepat dan akurat (Pujari, 2019).

Muscle memory berupa kemampuan untuk mereproduksi keterampilan fisik tanpa usaha sadar atau pikiran setelah pembelajaran awal. Memori ini disimpan di otak dan dapat diambil kembali untuk digunakan di masa mendatang. Walaupun demikian, mekanisme neurobiologi yang mendasari memori otot (*muscle memory*) belum sepenuhnya dipahami. Sebagian besar penelitian penelitian menunjukkan bahwa hal itu melibatkan perubahan dalam koneksi saraf (Pujari, 2019).

Pemahaman tentang peran sistem saraf dalam mengembangkan *muscle memory* memiliki implikasi penting dalam berbagai bidang, termasuk rehabilitasi fisik, olahraga, dan pendidikan. Dengan memahami bagaimana sistem saraf berkontribusi pada pembentukan *muscle memory*, kita dapat mengembangkan strategi pelatihan yang lebih efektif untuk meningkatkan keterampilan motorik dan mempromosikan kesehatan fisik (Cumming et al., 2024; Gundersen, 2016; Pujari, 2019; Serrano et al., 2025).

Meskipun gagasan memori otot telah ada sejak lama dan digunakan di berbagai sektor, seperti pelatihan dan rehabilitasi olahraga, mekanisme yang mendasarinya masih menjadi topik penelitian dalam komunitas ilmiah. Kemungkinan besar otak bertanggung jawab untuk mengodekan dan menyimpan keterampilan fisik yang diperoleh mengingat kemudahannya untuk diambil dan disimpan. Namun, bagaimana tepatnya otak mencapai proses ini dan bagaimana tepatnya memori otot diproduksi, dipertahankan, dan dipulihkan merupakan topik yang sulit yang telah memikat para peneliti selama beberapa dekade (Pujari, 2019). Makalah tinjauan pustaka ini bertujuan untuk memberikan gambaran umum tentang *muscle memory* termasuk definisi, jenis, dan mekanisme neurobiologisnya.

METODE PENELITIAN

Tulisan ini merupakan tinjauan pustaka naratif. Artikel dipilih dari jurnal terbitan *Science Direct*, *Google Scholar*, dan *PubMed* dengan terbitan 10 tahun terakhir.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Muscle memory adalah mekanisme seluler yang menggambarkan kapasitas serat otot rangka untuk merespons secara berbeda terhadap rangsangan latihan jika rangsangan tersebut pernah ditemui sebelumnya (Cumming et al., 2024). *Muscle memory* dapat dikategorikan menjadi memori prosedural dan memori persepsi. Memori prosedural melibatkan psembelajaran dan pelaksanaan serangkaian tindakan motorik, sementara memori persepsi berkaitan dengan pengenalan dan ingatan stimulus sensorik. Kedua jenis memori ini penting untuk perolehan dan penyempurnaan keterampilan fisik. Memori prosedural bergantung pada sirkuit saraf yang melibatkan ganglia basal, serebelum, dan korteks motorik, yang mengoordinasikan perencanaan, pengaturan waktu, dan pelaksanaan gerakan. Memori persepsi melibatkan area sensorik primer dan meningkatkan pengenalan dan ingatan sensorik. Perkembangan memori otot dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk latihan yang disengaja, umpan balik, dan isyarat. Latihan yang disengaja yang melibatkan pengulangan dan penyempurnaan keterampilan motorik memfasilitasi penguatan dan pembentukan koneksi saraf. Umpan balik dan isyarat meningkatkan konsolidasi memori otot dan meningkatkan kinerja motorik. Memahami mekanisme neurobiologis memori otot memiliki implikasi praktis. Dalam olahraga, memori otot memainkan peran penting dalam perolehan keterampilan dan peningkatan performa. Hal ini memungkinkan atlet untuk melakukan gerakan kompleks dengan mudah dan akurat. Dalam rehabilitasi, memori otot digunakan untuk melatih kembali keterampilan motorik yang terganggu akibat cedera atau penyakit. Dengan memanfaatkan memori otot, program

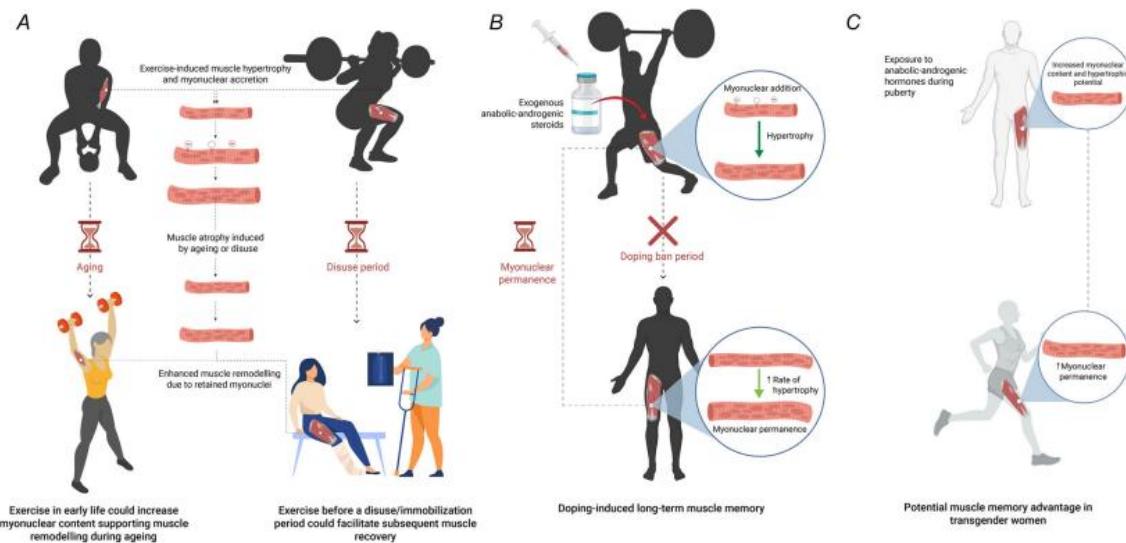
rehabilitasi dapat memfasilitasi pemulihan motorik dan meningkatkan hasil fungsional (Pujari, 2019; Sitko et al., 2025).

Muscle memory terkait dengan kemampuan untuk mengulang gerakan atau keterampilan motorik tertentu, seperti mengendarai sepeda. Keterampilan yang dipelajari dan biasanya tidak dilupakan. Namun, konsep memori otot kini telah berkembang di kalangan ilmuwan dan di ranah publik yang lebih luas. Evolusi ini memperluas konsep memori otot dan berkaitan dengan jenis memori yang berada di tingkat seluler dan molekuler dalam jaringan otot rangka itu sendiri. Secara khusus, melakukan aktivitas fisik dan olahraga secara positif meningkatkan ukuran otot, proses metabolisme, dan kinerja fungsional. Demikian pula, massa dan kekuatan jaringan otot dengan cepat menurun sebagai respons terhadap periode ketidakaktifan fisik (misalnya, cedera, tidak digunakan, dan rawat inap), dan berbagai kondisi penyakit (misalnya, kanker dan diabetes) bersamaan dengan penurunan bertahap dan alami seiring bertambahnya usia, suatu gangguan yang disebut sarkopenia. Ada berbagai pengamatan bahwa pertemuan dengan rangsangan lingkungan positif dan negatif yang mungkin "diingat" oleh sel-sel yang membentuk jaringan otot, dan bahwa otot kita dapat merespons secara berbeda jika rangsangan ini ditemui lagi nanti. Oleh karena itu, dalam konteks ini, memori otot rangka telah didefinisikan sebagai "Kapasitas otot rangka untuk merespons secara berbeda terhadap stimulus lingkungan secara adaptif (positif) atau maladaptif (negatif) jika stimulus tersebut telah ditemui sebelumnya". Dalam konteks latihan, otot merespons dan beradaptasi dengan cara yang menguntungkan, di mana perubahan molekuler dan fenotipik yang terkait dengan latihan latihan ditekankan ketika stimulus latihan serupa telah dilakukan sebelumnya. Secara khusus, respons hipertrofi dan fungsional otot terhadap latihan ketahanan terjadi lebih cepat dan pada tingkat yang lebih besar setelah periode pelatihan ulang kedua, bahkan ketika dilakukan setelah periode yang lama dari ketidakaktifan fisik atau "detraining" di mana massa otot telah kembali ke tingkat sebelum latihan. Hal ini menunjukkan bahwa latihan lebih awal mampu "mempersiapkan" otot rangka untuk respons dan adaptasi yang lebih besar terhadap latihan ulang selanjutnya, bahkan setelah beberapa bulan detraining, sebuah konsep yang diidentifikasi pada awal 1990-an. Meskipun beberapa respons adaptif yang lebih besar dalam hal kekuatan terhadap latihan ulang selanjutnya dapat, sebagian, dikaitkan dengan peningkatan aktivasi saraf otot, studi molekuler lanjutan yang dilakukan selama dekade terakhir telah menunjukkan bahwa sel-sel di dalam otot kita mungkin juga memiliki memori pertumbuhan otot yang diinduksi oleh latihan sebelumnya (Cumming et al., 2024; Traversa, 2025).

Pembentukan Muscle Memory

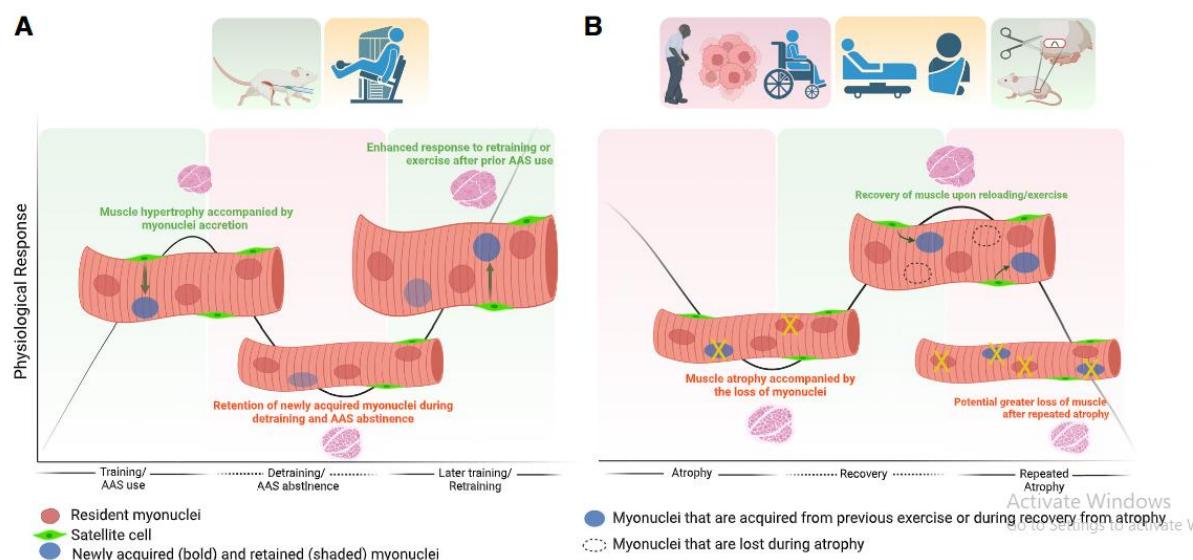
Pembentukan *muscle memory* melibatkan perubahan pada jalur saraf dan sinapsis, termasuk peningkatan kekuatan sinaptik dan reorganisasi jaringan saraf. Proses ini dikenal sebagai neuroplastisitas, yang memungkinkan sistem saraf untuk beradaptasi dan berubah sebagai respons terhadap pengalaman dan latihan. *Muscle memory* juga dipengaruhi secara signifikan oleh ganglia basalis, yang merupakan kumpulan struktur subkortikal yang saling terkait. Ganglia basalis terlibat dalam proses pemilihan tindakan, inisiasi gerakan, dan pembelajaran urutan motorik. Proses-proses ini menerima masukan dari otak.

Mekanisme pembentukan *muscle memory* dibagi menjadi 2 yaitu *cellular muscle memory* dan *epigenetic muscle memory*. Kedua mekanisme tersebut memiliki memori terhadap rangsangan pertumbuhan (memori positif). Mekanisme seluler terkait dengan pertambahan nukleus baru di dalam serat otot (mionuklei) setelah periode pertumbuhan otot yang mungkin dipertahankan bahkan selama periode kehilangan otot berikutnya dan kemudian dikaitkan dengan peningkatan adaptasi terhadap pertumbuhan kembali di kemudian hari. Mekanisme epigenetik dari memori otot yang berhubungan dengan modifikasi pada DNA otot rangka setelah pertumbuhan otot yang diinduksi oleh latihan sebelumnya, modifikasi yang dipertahankan bahkan hingga detraining di mana latihan dihentikan, dan dikaitkan dengan peningkatan respons molekuler dan dengan demikian adaptasi terhadap pelatihan ulang di kemudian hari. Kondisi ini bisa dipahami lebih mudah sesuai Gambar 1 (Cumming et al., 2024).



Gambar 1. Implikasi teori muscle memory pada kondisi yang berbeda (A. Latihan resistensi, B. Pemberian steroid anabolik, C. Pubertas dan atlet transgender women)
(Cumming et al., 2024)

Memori otot "negatif" mungkin juga ada. Hal ini ditemukan pada pemborosan otot (disuse), immobilisasi akibat cedera, dan rawat inap. Ketiga kejadian ini dapat menyebabkan otot menjadi lebih rentan terhadap pemborosan otot lebih lanjut jika stimulus yang sama (atau serupa) dihadapi kembali. Eksperimen in vitro memberikan bukti konsep untuk memori otot negatif, di mana sel otot yang dikultur mempertahankan perubahan epigenetik setelah pengobatan dengan sitokin inflamasi dosis tinggi dan faktor nekrosis tumor. Hal ini dijelaskan lebih gamblang pada Gambar 2 (Traversa, 2025).



Gambar 2. Perbedaan myonuclei pada berbagai aktivitas (Sharples & Turner, 2023).

Sistem Saraf yang Terlibat Dalam Pembentukan *Muscle Memory*

Korteks motorik berperan dalam perencanaan dan pelaksanaan gerakan, sedangkan ganglia basalia dan cerebellum terlibat dalam pengaturan dan penyempurnaan gerakan. Sistem saraf juga menggunakan umpan balik sensorik untuk memantau dan menyesuaikan gerakan, memungkinkan pengembangan *muscle memory* yang lebih akurat. Sistem saraf pusat dan perifer, serta adaptasi neuronal dan sinaptik. Cortex motorik, basal ganglia, dan sumsum tulang belakang terlibat secara aktif dalam pembentukan *muscle memory*. Tahapan pembentukan *muscle memory* terbagi dalam tiga tahap, yaitu akuisisi (pemrosesan informasi sensorik dan motorik untuk membentuk gerakan baru), konsolidasi (perpindahan dari memori jangka pendek ke jangka panjang melalui neuroplastisitas), serta retensi memori (pengaktifan pola gerakan yang berhasil dikonsolidasi). Neurotransmitter seperti dopamin dan asetilkolin memainkan peran penting dalam modulasi proses neurobiologis yang terkait dengan *muscle memory*. Selain itu, faktor neurotropik seperti BDNF (*Brain-Derived Neurotrophic Factor*) juga berperan

dalam mendukung neuroplastisitas dan pembentukan muscle memory (Cumming et al., 2024; Gundersen, 2016; Pujari, 2019).

Penelitian telah menunjukkan bahwa ganglia basalis, khususnya striatum, berperan dalam konstruksi dan pelaksanaan memori prosedural. Striatum berperan dalam pembentukan memori prosedural. Melalui hubungannya dengan korteks dan bagian otak lainnya, ganglia basalis membantu mengoptimalkan dan mengotomatiskan kinerja aktivitas motorik. Otak kecil merupakan bagian penting lain dari otak yang terlibat dalam proses memori otot. Otak kecil berperan penting dalam proses koordinasi motorik, menjaga keseimbangan, dan mempelajari kemampuan motorik baru. Otak kecil mengintegrasikan informasi ini untuk menyempurnakan keluaran motorik dengan menerima masukan sensorik dari berbagai sumber, seperti sumsum tulang belakang, dan menggunakan informasi ini. Penelitian telah menunjukkan bahwa otak kecil berperan dalam perolehan, retensi, dan pengaturan kemampuan motorik, yang menunjukkan bahwa otak kecil juga berperan dalam konsolidasi dan pengambilan memori otot. Korteks motorik, ganglia basal, dan serebelum merupakan contoh area otak yang penting, dan sirkuit saraf yang canggih memungkinkan area-area ini berkomunikasi satu sama lain. Sirkuit sirkuit ini tidak hanya melibatkan koneksi eksitatori, tetapi juga melibatkan mekanisme penghambatan, yang memungkinkan kontrol presisi atas keluaran motorik. Memori persepsi, yang berkontribusi pada pengenalan dan mengingat masukan sensorik yang terkait dengan kemampuan motorik tertentu, juga terlibat di bagian otak lainnya, seperti korteks sensorik dan area asosiasi (Pujari, 2019).

Sejumlah neurotransmitter, termasuk asetilkolin dan noradrenalin, telah terbukti berperan dalam fungsi atensi, arousal, dan memori. Neurotransmitter ini bertanggung jawab untuk memodulasi eksitabilitas dan plastisitas sirkuit neuronal yang terlibat dalam memori otot. Akibatnya, neurotransmitter ini mempermudah penguatan dan konsolidasi koneksi sinaptik (Pujari, 2019).

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Proses neurobiologis dalam pembentukan *muscle memory* melibatkan sistem saraf pusat dan perifer, neurotransmitter, dan faktor neurotropik. *Muscle memory* merupakan aspek fundamental dari perolehan dan retensi keterampilan fisik. *Muscle memory* melibatkan perubahan saraf di otak dan dapat dikategorikan menjadi memori prosedural dan persepsi. Memahami mekanisme yang mendasari memori otot memberikan wawasan untuk

mengoptimalkan perolehan keterampilan, meningkatkan kinerja, dan meningkatkan strategi rehabilitasi.

Saran

Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengungkap proses rumit memori otot dan penerapannya di berbagai domain.

DAFTAR RUJUKAN

Cumming, K. T., Reitzner, S. M., Hanslien, M., Skilnand, K., Seynnes, O. R., Horwath, O., Psilander, N., Sundberg, C. J., & Raastad, T. (2024). Muscle memory in humans: Evidence for myonuclear permanence and long-term transcriptional regulation after strength training. *The Journal of Physiology*, 602(17), 4171–4193. <https://doi.org/10.1113/JP285675>

Gundersen, K. (2016). Muscle memory and a new cellular model for muscle atrophy and hypertrophy. *Journal of Experimental Biology*, 219(2), 235–242. <https://doi.org/10.1242/jeb.124495>

Pujari, V. (2019). Muscle Memory and the Brain: How Physical Skills are Stored and Retrieved. *Journal of Advanced Medical and Dental Sciences Research*, 7(9), 273–279.

Serrano, N., Dupont-Versteegden, E. E., & Murach, K. A. (2025). Muscle memory theory: A critical evaluation. *The Journal of Physiology*, JP289597. <https://doi.org/10.1113/JP289597>

Sharples, A. P., & Turner, D. C. (2023). Skeletal muscle memory. *American Journal of Physiology-Cell Physiology*, 324(6), C1274–C1294. <https://doi.org/10.1152/ajpcell.00099.2023>

Sitko, S., Castillo-García, A., & Valenzuela, P. L. (2025). Muscle memory theory: Implications for health, athletic performance and sports integrity. *The Journal of Physiology*, JP288757. <https://doi.org/10.1113/JP288757>

Traversa, C. (2025). Skeletal Muscle Memory: An Update From the Antidoping Perspective. *Drug Testing and Analysis*, 17(7), 1063–1070. <https://doi.org/10.1002/dta.3804>