

Analisis Komparatif Biomekanika Renang Gaya Bebas dan Gaya Dada Jarak 25 Meter

Muhamad Baidhowi Primadi^{1*}, Darul Husnul²

^{1,2}Universitas Negeri Makassar

*Email Korespondensi : m.baidhowiprimadi@unm.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan performa biomekanika gaya renang bebas dan gaya dada pada jarak 25 meter melalui analisis waktu tempuh sebagai indikator efisiensi gerak. Studi ini menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif dengan 46 mahasiswa Ilmu Keolahragaan sebagai subjek penelitian. Setiap subjek melakukan renang gaya bebas dan gaya dada sejauh 25 meter, dan waktu tempuh diukur menggunakan stopwatch presisi. Hasil menunjukkan bahwa gaya bebas memiliki rata-rata waktu tempuh sebesar 22,71 detik (SD = 7,74), sedangkan gaya dada sebesar 33,82 detik (SD = 9,58), dengan selisih rata-rata 11,11 detik. Hasil ini mengindikasikan bahwa gaya bebas secara signifikan lebih efisien dalam menghasilkan kecepatan renang pada jarak pendek. Dari perspektif biomekanika, efisiensi gaya bebas dipengaruhi oleh panjang tarikan (stroke length) yang lebih besar, rendahnya hambatan frontal, serta pola gerakan yang mendukung fase propulsi berkelanjutan. Sebaliknya, gaya dada menunjukkan variabilitas teknik yang lebih tinggi, serta fase recovery yang lebih lambat, yang menyebabkan penurunan efisiensi. Penelitian ini memberikan implikasi bagi pelatih dan pengajar dalam merancang strategi pelatihan teknik yang disesuaikan dengan karakteristik biomekanika masing-masing gaya renang, khususnya untuk meningkatkan performa pada nomor jarak pendek.

Kata kunci: Biomekanika renang, gaya bebas, gaya dada, efisiensi gerak.

ABSTRACT

This study aims to compare the biomechanical performance of freestyle and breaststroke swimming techniques over a 25-meter distance by analyzing swim time as an indicator of movement efficiency. A descriptive quantitative approach was employed, involving 46 undergraduate students from the Department of Sports Science as participants. Each subject performed both freestyle and breaststroke swimming trials over a 25-meter course, with completion time measured using a precision stopwatch. The results showed that freestyle swimming achieved a mean time of 22.71 seconds (SD = 7.74), while breaststroke recorded a mean time of 33.82 seconds (SD = 9.58), resulting in an average time difference of 11.11 seconds. These findings indicate that freestyle is significantly more efficient in producing swimming speed over short distances. From a biomechanical perspective, the greater efficiency of freestyle is influenced by a longer stroke length, reduced frontal drag, and a continuous propulsive phase. In contrast, breaststroke demonstrates higher variability in technique and a slower recovery phase, which contribute to reduced efficiency. This study provides relevant insights for coaches and educators in designing technique-specific training strategies that consider the biomechanical characteristics of each swimming style, particularly for enhancing performance in short-distance events.

Keywords: *swimming biomechanics, freestyle, breaststroke, movement efficiency.*

PENDAHULUAN

Performa renang pada nomor jarak pendek, khususnya sprint 25 meter, sangat ditentukan oleh efisiensi biomekanik dan prinsip-prinsip hidrodinamika. Di antara empat gaya renang kompetitif, gaya bebas (*front crawl*) secara luas diakui sebagai gaya tercepat karena memiliki fase propulsi yang hampir kontinu, posisi tubuh yang lebih streamline, serta hambatan hidrodinamik yang lebih rendah. Sebaliknya, gaya dada dianggap sebagai gaya kompetitif yang paling lambat, terutama disebabkan oleh propulsi yang tidak kontinu, meningkatnya hambatan frontal (*frontal drag*), dan variasi kecepatan intracyclic yang lebih besar (Nicol et al., 2022). Sebagaimana ditegaskan oleh Nicol et al. (2022) “gaya dada merupakan gaya renang yang kompleks secara teknis yang ditandai dengan fase propulsi yang tidak kontinu, variasi kecepatan intracyclic yang besar, dan kecepatan rata-rata yang rendah”. Fluktuasi kecepatan tersebut menunjukkan adanya inefisiensi biomekanik yang melekat pada gaya dada jika dibandingkan dengan mekanika gaya bebas yang lebih kontinu dan streamline.

Hambatan hidrodinamika menjadi faktor utama dalam menjelaskan perbedaan tersebut. Gaya dada menenakankan dorongan, luas area frontal, dan kebutuhan energi yang lebih tinggi, namun mempertahankan kecepatan yang lebih rendah dibandingkan teknik renang lainnya. Bukti ini menunjukkan bahwa resistensi yang lebih besar pada gaya dada tidak hanya meningkatkan kebutuhan energi perenang, tetapi juga membatasi kemampuan untuk mencapai kecepatan yang lebih tinggi. Temuan tersebut menegaskan adanya kelemahan biomekanik pada performa gaya dada dalam nomor sprint, di mana efisiensi propulsi dan minimisasi hambatan merupakan determinan utama performa.

Kajian lebih lanjut melalui pemodelan komputasional semakin memperkuat kerangka teoritis tersebut. Bao et al (2022). melalui penerapan model dinamika *rigid-body* melaporkan bahwa “hambatan aktif yang lebih tinggi selama gaya dada menghasilkan efisiensi propulsi yang lebih rendah dibandingkan renang gaya bebas”. Perspektif ini memberikan penjelasan mekanistik terhadap rendahnya hasil kecepatan pada gaya dada, di mana interaksi antara hambatan dan propulsi kurang menguntungkan dibandingkan gaya bebas.

Selain pertimbangan biomekanik, performa renang juga dipengaruhi oleh kualitas *fundamental motor skills* (FMS), khususnya pada populasi seperti mahasiswa yang belum tentu memiliki spesialisasi dalam renang kompetitif. Menurut Jiang et al. (2024), “keterampilan motorik dasar merupakan fondasi penting bagi gerakan kompleks, yang menyediakan dasar bagi kompetensi aktivitas fisik dan penguasaan keterampilan spesifik olahraga”. Hal ini menunjukkan bahwa efisiensi dan efektivitas teknik renang tidak hanya dipengaruhi oleh keterbatasan hidrodinamika dan biomekanika, tetapi juga oleh koordinasi motorik, keseimbangan, dan integrasi keterampilan yang dimiliki perenang. Sebagai contoh, mahasiswa dengan kemampuan FMS yang lebih baik cenderung mampu mengoordinasikan gerakan anggota tubuh secara lebih efektif, mempertahankan posisi tubuh yang streamline, serta menjaga efisiensi propulsi pada berbagai gaya renang, sehingga dapat

meminimalkan fluktuasi kecepatan intracyclic dan mengoptimalkan performa.

Secara keseluruhan, berbagai perspektif tersebut menunjukkan bahwa performa renang pada nomor sprint bersifat multifaktorial. Efisiensi biomekanik menentukan potensi kecepatan spesifik setiap gaya renang, sedangkan kompetensi keterampilan motorik memengaruhi seberapa efektif individu dapat mengeksekusi tuntutan teknis gerakan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan membandingkan waktu tempuh renang 25 meter mahasiswa menggunakan teknik gaya bebas dan gaya dada, sehingga dapat memberikan bukti empiris terhadap kajian yang lebih luas mengenai determinan performa spesifik gaya renang, khususnya terkait interaksi antara efisiensi biomekanik dan kompetensi keterampilan motorik.

METODE

Partisipan

Penelitian ini melibatkan 46 mahasiswa (35 laki-laki dan 11 perempuan) yang terdaftar pada Program Studi Ilmu Keolahragaan Universitas Negeri Makassar. Seluruh partisipan memiliki pengalaman berenang sebelumnya dan menguasai teknik gaya bebas maupun gaya dada, sebagaimana dikonfirmasi oleh dosen pengampu mata kuliah renang. Kriteria inklusi dalam penelitian ini meliputi: (1) berada dalam kondisi sehat dan bebas dari cedera muskuloskeletal selama enam bulan terakhir, (2) mampu menunjukkan pelaksanaan teknik kedua gaya renang secara benar, dan (3) bersedia mengikuti penelitian secara sukarela. Adapun kriteria eksklusi meliputi partisipan yang tidak menyelesaikan seluruh percobaan atau gagal melakukan teknik renang sesuai standar yang telah ditetapkan.

Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan desain komparatif *within-subject*. Setiap partisipan melakukan dua kali percobaan renang, yaitu renang gaya bebas 25 meter dan renang gaya dada 25 meter. Urutan pelaksanaan percobaan diacak (*counterbalanced*) untuk meminimalkan efek kelelahan maupun pengaruh urutan perlakuan. Waktu istirahat yang memadai selama 5 menit diberikan di antara setiap percobaan guna memastikan pemulihan optimal.

Prosedur Penelitian

Seluruh pengujian dilakukan di kolam renang standar 25 meter dengan suhu air dipertahankan pada kisaran 27–28°C. Setiap percobaan dimulai dari posisi diam di dalam air (*in-water start*), bukan melalui lompatan (*dive start*), untuk mengontrol variabilitas reaksi dan teknik start. Partisipan diinstruksikan untuk menyelesaikan jarak 25 meter dengan usaha maksimal menggunakan teknik renang yang benar.

Performa renang dicatat menggunakan stopwatch digital dengan tingkat akurasi $\pm 0,01$ detik. Dua orang pengamat terlatih secara independen melakukan pencatatan waktu pada setiap percobaan untuk meminimalkan kesalahan manusia (*human error*). Nilai rata-rata dari kedua hasil pencatatan

digunakan sebagai data analisis. Kecepatan renang (m/s) dihitung dengan membagi jarak tempuh (25 m) dengan waktu yang diperoleh.

Analisis Data

Statistik deskriptif berupa nilai rata-rata dan standar deviasi (*mean ± standard deviation*) dihitung untuk performa gaya bebas dan gaya dada. Perbandingan waktu tempuh dan kecepatan renang antara kedua gaya dianalisis menggunakan *uji paired sample t-test*, karena partisipan yang sama melakukan kedua percobaan renang tersebut. Tingkat signifikansi statistik ditetapkan pada nilai $p < 0,05$. Seluruh analisis data dilakukan menggunakan perangkat lunak SPSS versi 26.0 (IBM Corp., Armonk, NY, USA).

HASIL dan PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Tabel 1 menyajikan statistik deskriptif waktu renang gaya bebas dan gaya dada pada jarak 25 meter.

Tabel 1. Statistik deskriptif waktu renang 25 m gaya bebas dan gaya dada (N = 46)

Variable	Mean (s)	SD (s)	Min (s)	Max (s)
Gaya Bebas	22.71	7.74	12.54	47.85
Gaya Dada	33.82	9.58	17.54	53.13

Rata-rata waktu tempuh gaya bebas adalah $22,71 \pm 7,74$ detik, sedangkan gaya dada memerlukan waktu $33,82 \pm 9,58$ detik. Perbedaan sekitar 11,11 detik ini menunjukkan bahwa gaya bebas secara substansial lebih cepat dibandingkan gaya dada pada seluruh partisipan. Perenang tercepat pada gaya bebas menyelesaikan jarak dalam waktu 12,54 detik, sedangkan yang terlambat memerlukan waktu 47,85 detik. Pada gaya dada, waktu tercepat tercatat sebesar 17,54 detik dan waktu terlambat sebesar 53,13 detik.

Distribusi waktu juga menunjukkan efisiensi dan kecepatan yang lebih tinggi pada gaya bebas, dengan rentang interkuartil yang lebih sempit (16,45–26,64 detik) dibandingkan gaya dada (25,82–40,80 detik). Temuan ini mencerminkan perbedaan biomekanik dan fisiologis antara kedua gaya renang tersebut. Gaya bebas ditandai oleh propulsi yang kontinu dan posisi tubuh yang streamline, sehingga dapat mengurangi hambatan dan meningkatkan kecepatan gerak ke depan (Toussaint & Beek, 1992). Sebaliknya, gaya dada melibatkan propulsi siklik dengan fase meluncur (*glide phase*) yang signifikan, sehingga menghasilkan resistensi yang lebih besar dan kecepatan rata-rata yang lebih rendah (Seifert et al, 2010).

Tabel 1 memperlihatkan distribusi komparatif waktu renang yang menunjukkan adanya kesenjangan performa yang jelas antara kedua gaya renang. Distribusi data menunjukkan bahwa gaya bebas tidak hanya menghasilkan nilai rata-rata yang lebih cepat, tetapi juga memiliki rentang variasi

yang lebih sempit, yang mengindikasikan efisiensi lebih tinggi serta konsistensi performa yang lebih baik di antara perenang. Sebaliknya, gaya dada menunjukkan performa rata-rata yang lebih lambat dengan variasi yang lebih luas, yang mencerminkan tuntutan biomekanik yang lebih kompleks.

Temuan ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang secara konsisten melaporkan bahwa gaya bebas merupakan gaya renang tercepat di antara gaya kompetitif lainnya karena posisi tubuh yang lebih streamline dan fase propulsi yang kontinu (Craig & Pendergast, 1979). Efisiensi gaya bebas berasal dari rendahnya hambatan serta penggunaan gerakan lengan bergantian yang memaksimalkan propulsi, sedangkan gaya dada melibatkan gerakan anggota tubuh secara simultan dengan fase meluncur yang lebih dominan, sehingga menimbulkan perlambatan dan gaya hambat yang lebih besar (Seifert et al, 2010). Dalam studi simulasi muskuloskeletal tentang gaya dada, Nakashima et al. (2013). menunjukkan bahwa “interaksi dinamis antara gerakan anggota tubuh dan gaya otot memainkan peran penting dalam mengoptimalkan efisiensi propulsi dan meminimalkan hambatan, sehingga memberikan wawasan yang lebih mendalam mengenai biomekanika performa renang” .

Lebih lanjut, penelitian biomekanik menunjukkan bahwa biaya energi (*energy cost*) pada renang gaya dada secara signifikan lebih tinggi dibandingkan gaya bebas pada kecepatan yang setara, terutama disebabkan oleh mekanisme propulsi yang kurang efisien dan meningkatnya hambatan frontal (Barbosa et al., 2010). Hal ini sesuai dengan hasil penelitian saat ini, di mana perenang gaya dada secara konsisten membutuhkan waktu yang lebih lama untuk menyelesaikan jarak yang sama. Perbedaan performa yang diamati antara gaya bebas dan gaya dada dalam penelitian ini juga dapat diinterpretasikan melalui perspektif perkembangan FMS. Sebagaimana dijelaskan oleh Jiang et al. (2024), “FMS berfungsi sebagai prasyarat penting bagi penguasaan keterampilan spesifik olahraga. Hal ini menunjukkan bahwa perenang dengan fondasi motorik yang lebih baik cenderung menunjukkan teknik yang lebih efisien dan performa yang lebih unggul pada tugas renang tingkat lanjut”.

Dari sudut pandang fisiologis, gaya dada menuntut koordinasi otot yang lebih besar dan melibatkan propulsi yang kurang kontinu, sehingga perenang harus berulang kali mengatasi inersia. Sebaliknya, gaya bebas memperoleh keuntungan dari produksi gaya yang lebih kontinu, sehingga memungkinkan perenang mempertahankan kecepatan yang lebih tinggi dengan fluktuasi yang lebih kecil (Maghlicco, 2003). Data penelitian ini mendukung kerangka teoritis tersebut dengan menunjukkan secara kuantitatif bahwa bahkan pada mahasiswa yang telah terlatih, kesenjangan efisiensi antara kedua gaya masih tampak jelas dan cukup besar.

Pembahasan

Penelitian ini membandingkan performa renang 25 meter antara gaya bebas dan gaya dada pada mahasiswa Program Studi Ilmu Keolahragaan Universitas Negeri Makassar. Hasil penelitian dengan jelas menunjukkan bahwa gaya bebas menghasilkan waktu yang secara signifikan lebih cepat dibandingkan gaya dada, dengan rentang variasi performa yang lebih sempit di antara partisipan.

Temuan ini sejalan dengan keunggulan biomekanik dan fisiologis gaya bebas yang telah banyak dilaporkan dalam literatur terbaru (Nicol et al., 2022, Gonjo et al., 2020).

Perspektif penting lainnya yang perlu dipertimbangkan adalah peran FMS dalam penguasaan dan pelaksanaan teknik renang tingkat lanjut. Jiang et al. (2024) melakukan meta-analisis dan menyimpulkan bahwa perkembangan FMS pada masa kanak-kanak secara signifikan memengaruhi efisiensi performa motorik pada tahap kehidupan selanjutnya. Temuan ini menunjukkan bahwa perbedaan performa antara gaya bebas dan gaya dada dalam penelitian ini tidak hanya disebabkan oleh tuntutan biomekanik dan fisiologis, tetapi juga oleh kompetensi keterampilan motorik dasar yang diperoleh perenang sejak usia dini.

Dalam konteks renang, FMS seperti koordinasi, keseimbangan, dan keterampilan lokomotor menjadi dasar terbentuknya teknik spesifik setiap gaya renang. Mahasiswa yang memiliki perkembangan FMS yang lebih baik sejak dini cenderung menunjukkan koordinasi gerak yang lebih halus, hambatan yang lebih rendah, serta propulsi yang lebih efisien pada gaya bebas maupun gaya dada. Oleh karena itu, hasil penelitian ini mendukung pemahaman yang lebih luas bahwa perkembangan motorik awal memainkan peran penting dalam membentuk capaian performa tingkat lanjut. Integrasi perspektif ini memperkuat pentingnya jalur latihan jangka panjang yang menekankan pengembangan keterampilan motorik sejak masa kanak-kanak hingga pendidikan tinggi, sehingga atlet mampu memaksimalkan potensi teknis dan fisiologisnya.

Dari perspektif biomekanik, gaya bebas memberikan propulsi kontinu melalui gerakan lengan bergantian dan tendangan kaki flutter kick, sehingga meminimalkan fase perlambatan dalam setiap siklus gerakan. Aplikasi gaya yang kontinu ini memungkinkan perenang mempertahankan momentum dan mengatasi hambatan secara lebih efisien (van Houwelingen et al., 2017). Sebaliknya, gaya dada ditandai oleh propulsi yang tidak kontinu, dengan adanya fase meluncur setelah setiap rangkaian gerakan tendangan dan tarikan tangan, di mana kecepatan berkurang secara substansial sebelum aksi propulsi berikutnya dilakukan (Gourgoulis et al., 2018). Pola akselerasi dan deselerasi siklik ini meningkatkan fluktuasi kecepatan intra-siklus dan berkontribusi terhadap waktu tempuh yang lebih lama. Oleh karena itu, temuan penelitian ini yang menunjukkan bahwa gaya bebas secara konsisten lebih unggul dibandingkan gaya dada semakin memperkuat prinsip biomekanik mengenai kontinuitas propulsi dan rendahnya hambatan hidrodinamik sebagai determinan utama kecepatan renang.

Dari sudut pandang fisiologis, gaya bebas umumnya lebih efisien secara energi per satuan jarak dibandingkan gaya dada. Penelitian menunjukkan bahwa biaya metabolik gaya dada lebih tinggi akibat meningkatnya hambatan frontal dan perekrutan simultan kelompok otot besar selama fase tarikan dan tendangan (Seifert et al., 2014). Sebaliknya, gaya bebas mendistribusikan beban kerja otot secara lebih merata dan memungkinkan fleksibilitas frekuensi kayuhan yang lebih besar, sehingga menghasilkan pengeluaran energi yang lebih rendah pada kecepatan yang sama (Barbosa et al., 2006). Efisiensi

fisiologis ini mendukung waktu rata-rata yang lebih cepat pada percobaan gaya bebas dalam penelitian ini.

Temuan penting lainnya adalah variasi performa gaya dada yang lebih besar dibandingkan gaya bebas, sebagaimana terlihat pada rentang waktu yang lebih luas. Hal ini mencerminkan kompleksitas teknik yang lebih tinggi serta variasi antarperenang dalam mengoordinasikan fase tarikan tangan, tendangan kaki, dan pernapasan pada gaya dada (Vaz et al., 2016). Penyimpangan kecil dalam koordinasi dapat memberikan dampak yang sangat besar terhadap hasil performa pada gaya ini (Gonjo et al., 2023). Bagi mahasiswa yang bukan perenang kompetitif spesialis, tuntutan teknik tersebut dapat memperbesar inkonsistensi performa gaya dada.

Hasil penelitian ini juga memiliki implikasi pedagogis bagi pendidikan ilmu keolahragaan. Demonstrasi mengenai perbedaan biomekanik dan fisiologis antar gaya renang memberikan contoh nyata kepada mahasiswa mengenai bagaimana teori diterapkan dalam praktik. Pemahaman tentang alasan gaya bebas secara inheren lebih cepat dan efisien dibandingkan gaya dada dapat meningkatkan pembelajaran konseptual dalam biomekanika dan fisiologi olahraga, sekaligus membantu dalam penyusunan strategi pembelajaran renang. Sebagai contoh, instruktur dapat menjadikan gaya bebas sebagai gaya dasar untuk mengembangkan efisiensi renang secara umum, sementara pembelajaran gaya dada dapat difokuskan lebih besar pada aspek koordinasi dan ritme gerakan guna mengatasi kompleksitas teknik yang dimilikinya.

SIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa gaya bebas pada jarak 25 meter menghasilkan waktu tempuh yang secara signifikan lebih cepat dibandingkan gaya dada pada mahasiswa Program Studi Ilmu Keolahragaan Universitas Negeri Makassar. Hasil uji paired sample t-test mengonfirmasi adanya perbedaan yang signifikan antara kedua gaya renang tersebut.

Keunggulan performa gaya bebas dipengaruhi oleh efisiensi biomekanik dan fisiologis yang lebih baik, seperti posisi tubuh yang lebih streamline, hambatan yang lebih rendah, serta propulsi yang lebih kontinu. Sebaliknya, gaya dada memiliki hambatan yang lebih besar dan fase propulsi yang tidak kontinu, sehingga menghasilkan waktu tempuh yang lebih lambat dan variasi performa yang lebih tinggi.

Temuan penelitian ini mendukung teori biomekanika renang yang menyatakan bahwa gaya bebas merupakan gaya paling efisien untuk nomor sprint jarak pendek. Selain itu, hasil penelitian ini juga memberikan implikasi praktis bagi pembelajaran renang, khususnya dalam pengembangan teknik dasar dan peningkatan efisiensi gerak pada mahasiswa ilmu keolahragaan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada mahasiswa Fakultas Ilmu Keolahragaan Universitas Negeri Makassar yang telah berpartisipasi dengan antusias dalam penelitian ini. Penghargaan khusus juga disampaikan kepada dosen pengampu renang dan staf laboratorium atas bantuan berharga yang diberikan selama proses pengambilan data. Penulis turut mengucapkan terima kasih kepada rekan-rekan di Departemen Ilmu Keolahragaan Universitas Negeri Makassar atas masukan dan saran konstruktif yang sangat membantu dalam meningkatkan kualitas penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Bao, Y., Fang, H., & Xu, J. (2022). Effects of currents on human freestyle and breaststroke swimming analyzed by a rigid-body dynamic model. *Machines*, 10(1), Article 17. www.mdpi.com/2075-1702/10/1/17
- Barbosa, T. M., Bragada, J. A., Reis, V. M., Marinho, D. A., Carvalho, C., & Silva, A. J. (2010). Energetics and biomechanics as determining factors of swimming performance: Updating the state of the art. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13(2), 262–269. [www.jsams.org/article/S1440-2440\(09\)00045-0/abstract](http://www.jsams.org/article/S1440-2440(09)00045-0/abstract)
- Barbosa, T.M., Fernandes, R., Keskinen, K.L., Colaço, P., Cardoso, C., Silva, J., Vilas-Boas, J.P. (2006). Evaluation of the energy expenditure in competitive swimming strokes. *International Journal of Sports Medicine*, 27, 894–899. <https://doi.org/10.1055/s-2006-923776>
- Craig, A. B., & Pendergast, D. R. (1979). Relationships of stroke rate, distance per stroke, and velocity in competitive swimming. *Medicine and Science in Sports*, 11(3), 278–283.
- Gonjo, T., Narita, K., McCabe, C., Fernandes, R. J., & Vilas-Boas, J. P. (2020). Front crawl is more efficient and has smaller active drag than backstroke swimming: Kinematic and kinetic comparison between the two techniques at the same swimming speeds. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 8, Article 570657. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2020.570657>
- Gonjo, T., Olstad, B. H., Šťastný, J., Conceição, A., & Seifert, L. (2023). Intra- and inter-individual variability in the underwater pull-out technique in 200 m breaststroke turns. *PLoS ONE*, 18(3), Article e0283234. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0283234>
- Gourgoulis, V., Koulexidis, S., Gketzenis, P., & Tzouras, G. (2018). Intracyclic velocity variation of the center of mass and hip in breaststroke swimming with maximal intensity. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 32(3), 830–840. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002333>
- Jiang, W., Alali, A. A., Mohamad, N. I., Baki, M. H., & Ayubi, N. (2024). A meta-analysis of studies on fundamental motor skills in children aged 3–12 years. *Jurnal Sains Sukan & Pendidikan Jasmani*, 13(1), 16–37. <https://doi.org/10.37134/jsspj.vol13.1.3.2024>
- Maglischo, E. W. (2003). Swimming fastest. *Human Kinetics*.
- Nakashima, M., Hasegawa, T., Kamiya, S., & Takagi, H. (2013). Musculoskeletal simulation of the breaststroke. *Journal of Biomechanical Science and Engineering*, 8(2), 152–163.

<https://doi.org/10.1299/jbse.8.152>

- Nicol, E., Pearson, S., Saxby, D., Minahan, C. L., & Tor, E. (2022). Stroke kinematics, temporal patterns, neuromuscular activity and performance in breaststroke swimming: A systematic review. *Sports Medicine - Open*, 8, Article 75. <https://doi.org/10.1186/s40798-022-00467-2>
- Seifert, L., Chollet, D., & Rouard, A. (2010). Swimming constraints and coordination. *International Journal of Sports Medicine*, 31(5), 328–338.
- Seifert, L., Komar, J., Crettenand, F., Dadashi, F., Aminian, K., Millet, G.P. (2014). Inter-limb coordination and energy cost in swimming. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 17(4), 439–444. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2013.07.003>
- Toussaint, H. M., & Beek, P. J. (1992). Biomechanics of competitive front crawl swimming. *Sports Medicine*, 13(1), 8–24. <https://doi.org/10.2165/00007256-199213010-00002>
- van Houwelingen, J., Roerdink, M., Huibers, A. V., Evers, L. L. W., & Beek, P. J. (2017). Pacing the phasing of leg and arm movements in breaststroke swimming to minimize intra-cyclic velocity fluctuations. *PLoS ONE*, 12(10), e0186160. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0186160>
- Vaz, J. R., Olstad, B. H., Cabri, J. M. H., Kjendlie, P.-L., Pezarat-Correia, P., & Hug, F. (2016). Muscle coordination during breaststroke swimming: Comparison between elite swimmers and beginners. *Journal of Sports Sciences*, 34(20), 1941–1948. <https://doi.org/10.1080/02640414.2016.1143109>