



## Efisiensi fisiologis dan mekanis atlet sepakbola pelajar: Pengembangan metrik komposit untuk pemantauan performa

Nur Fitranto<sup>1</sup>, Made Bang Redy Utama<sup>1</sup>, Sri Indah Ihsani<sup>1</sup>, Ade Muhamad Muslim<sup>1</sup>, Dzulfiqar Diyananda<sup>1</sup>, Adi S<sup>2</sup>, Sigit Dwi Andrianto<sup>3</sup>, Zarizi Ab Rahman<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Fakultas Ilmu Keolahragaan dan Kesehatan, Universitas Negeri Jakarta, Indonesia

<sup>2</sup> Fakultas Ilmu Keolahragaan, Universitas Negeri Semarang, Indonesia

<sup>3</sup> Fakultas Ilmu Keolahragaan dan Kesehatan, Universitas Negeri Yogyakarta, Indonesia

<sup>4</sup> Department of Physical Education, Faculty Education, Unversiti Teknologi MARA, Malaysia

\*Corresponding Author. Email: [nurfitranto@unj.ac.id](mailto:nurfitranto@unj.ac.id)

Received: 6 Februari 2026; Revised: 13 Maret 2026; Accepted: 28 April 2026

**Abstrak:** Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efisiensi fisik dan performa atlet sepakbola pelajar pada pertandingan Asia Football Federation (AFF) U-17 tahun berdasarkan posisi dalam permainan Sepakbola. Pendekatan latihan yang masih mengutamakan fisik dalam bermain menjadi alasan untuk melihat efisiensi penggunaan kapasitas fisik dalam meningkatkan performa atlet pelajar di dalam pertandingan. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis kuantitatif dengan subjek penelitian berjumlah 20 Atlet Sepakbola Pelajar yang tergabung dalam timnas Sepakbola Indonesia U-17 Tahun. Proses pengumpulan Data menggunakan *GPS tracker* dan *heart rate monitor*, kemudian dihitung rasio efisiensi antara lain Beban Atlet (*Player Load/meter*), *Heart rate/Meters*) dan nilai efisiensi performa atlet pelajar. Analisis dilakukan menggunakan uji Kruskal-Wallis dan korelasi Pearson. Hasil dari penelitian ini menunjukkan pertama, tidak terdapat perbedaan signifikan dalam penggunaan kapasitas fisik dengan performa atlet pelar di pertandingan, kedua yaitu terdapat korelasi yang sangat kuat antara jarak berlari dengan beban atlet/*PlayerLoad* ( $r = 0.8115$ ), Ketiga jarak berlari atlet memiliki hubungan korelasi yang lemah dengan Denyut Nadi Pemain (*Heart rate/Meter*) dalam peningkatan performa permainan. Kesimpulan dalam penelitian ini adalah efisiensi penggunaan kemampuan fisik dalam bermain sepakbola khususnya timnas pelajar U-17 tahun ini di pengaruhi oleh karakter bermain individu bukan berdasarkan posisi bermain dalam pertandingan. Terlihat pada hasil penelitian efisiensi fisiologis dan mekanis dalam bermain tertinggi berasal dari 3 posisi yang berbeda. Penggunaan kemampuan fisik harus selaras dengan eksekusi teknik, pemahaman taktikal dan kemampuan menghadapi tekanan disertai dengan pengambilan keputusan yang tepat dalam pertandingan.

**Kata Kunci:** Efisiensi Fisik, *PlayerLoad*, Denyut Jantung, Sepakbola, Rasio Performa.

**Abstract:** This study aims to analyze the physical efficiency and performance of student athletes in the U-17 Asia Football Federation (AFF) matches based on position in the football game. A training approach that still prioritizes physicality in playing is a reason to look at the efficient use of physical capacity in improving the performance of student athletes in competitions. The method used in this research is quantitative analysis with research subjects consisting of 20 football student athletes who are members of the U-17 Indonesian National Football Team. The data collection process uses a *GPS tracker* and *heart rate monitor*, then efficiency ratios are calculated including Athlete Load (*Player Load/meters*), *Heart rate/Meters*) and student athlete performance efficiency values. Analysis was carried out using the Kruskal-Wallis test and Pearson correlation. The results of this study show firstly, there is no significant difference in the use of physical capacity and the performance of athletes in competitions, secondly, there is a very strong correlation between running distance and athlete load/*PlayerLoad* ( $r = 0.8115$ ). Thirdly, athlete running distance has a weak correlation with the Player's Heart Rate (*Heart rate/Meter*) in improving game performance. The conclusion in this research is that the efficiency of using physical abilities in playing football, especially for the U-17 student national team this year, is influenced by individual playing character, not based on playing position in the match. It can be seen from the research results that the highest physiological and mechanical efficiency in playing comes from 3 different positions. The use of physical abilities must be in harmony with technical execution, tactical understanding and the ability to deal with pressure accompanied by making the right decisions in the match.

**Keyword:** Physical Efficiency, *PlayerLoad*, Heart Rate, Football, Performance Ratio

**How to Cite:** Fitranto, N., Utama, M. B. R., Ihsani, S. I., Muslim, A. M., Diyananda, D., S, A., Andrianto, S. D., & Rahman, Z. A. (2026). Efisiensi fisiologis dan mekanis atlet sepakbola pelajar: Pengembangan metrik komposit untuk pemantauan performa. *Jurnal Pendidikan Jasmani Indonesia*, 22(1), 71-82. <https://doi.org/10.21831/jpji.v22i1.95498>



## PENDAHULUAN

Perkembangan sepakbola dunia khususnya asia tenggara semakin ketat dengan banyaknya penggunaan aplikasi atau latihan berbasis sport science. Pencapaian prestasi terbaik membutuhkan daya dukung yang baik bukan hanya skedsar bakat dan kerja keras tetapi perencanaan dan persiapan menghadapi pertandingan strategis yang matang. Pendekatan berbasis data sport science dapat mempermudah pelatih memahami atlet secara obyektif dan komprehensif. (Gomez-Ruano et al., 2020; Ogugua Chimezie Obi et al., 2024). Integrasi teknologi pemantauan performa seperti *Global Positioning System (GPS)*, *inertial measurement units (IMU)*, serta berbagai perangkat wearable memungkinkan pengukuran aktivitas fisik pertandingan (Morciano et al., 2022; Raabe et al., 2022; Wang et al., 2025). Pendekatan berbasis data ini telah mengubah paradigma evaluasi performa olahraga dari yang sebelumnya bersifat observasional menjadi lebih kuantitatif dan berbasis bukti ilmiah (Modric et al., 2022; Mohammed et al., 2025). Dengan adanya sistem monitoring yang semakin canggih, pelatih dan tim *sport science* dapat memperoleh informasi yang lebih detail mengenai beban kerja atlet, respons fisiologis tubuh, serta karakteristik gerakan yang terjadi selama pertandingan (Bradley & Ade, 2018; Dobreff et al., 2020; Llana et al., 2022).

Dalam konteks sepakbola, evaluasi performa fisik atlet pelajar menjadi aspek yang sangat penting mengingat karakteristik permainan yang bersifat intermiten, berintensitas tinggi, serta melibatkan kompleksitas taktis yang tinggi (Ju et al., 2023; Mohr et al., 2003; Sumarno & Ristiawan, 2022). Sepakbola menuntut atlet pelajar untuk melakukan berbagai aktivitas disik seperti berlari jarak jauh, *sprint*, akselerasi, deselerasi, perubahan arah, body contact dengan menjaga keseimbangan tubuh serta aplikasi teknik dan taktis secara berulang sepanjang pertandingan. Kombinasi aktivitas tersebut menuntut kapasitas fisik yang tinggi sekaligus kemampuan untuk mempertahankan performa dalam kondisi kelelahan. Analisis performa fisik secara fisiologis Atlet Sepakbola Pelajar menjadi komponen penting dalam mendukung pengambilan keputusan kepelatihan, pengembangan program latihan yang lebih efektif, serta proses seleksi atlet pelajar berbasis bukti ilmiah (Filter et al., 2023a; Orendurff et al., 2010; Schimpchen et al., 2021).

Pada umumnya beban fisik atlet pelajar dalam pertandingan dapat dikaji melalui berbagai panduan yang merefleksikan beban kerja eksternal maupun internal atlet pelajar. Beberapa indikator yang sering digunakan dalam analisis performa sepakbola antara lain total jarak tempuh, beban mekanis yang direpresentasikan melalui *PlayerLoad*, serta respons fisiologis seperti denyut jantung (*heart rate/HR*) (Filter et al., 2023b; Lin et al., 2023; Reinhardt et al., 2020a). Total jarak tempuh memberikan gambaran mengenai volume aktivitas fisik atlet pelajar selama pertandingan, sedangkan *PlayerLoad* merupakan indikator beban mekanis yang dihitung dari akumulasi percepatan pada tiga sumbu gerakan tubuh yang direkam melalui sensor akselerometer (Long et al., 2023; Page et al., 2015). Sedangkan, denyut jantung mencerminkan respons fisiologis tubuh terhadap tuntutan aktivitas fisik yang dilakukan selama pertandingan. (Oliva-Lozano et al., 2023; Torreño et al., 2016) Ketiga indikator ini tidak hanya menggambarkan besarnya beban kerja yang dialami atlet pelajar, namun dapat memberikan gambaran mengenai efisiensi fisiologis dan biomekanis dalam menghasilkan performa fisik (Lechner et al., 2023; Page et al., 2015).

Pendekatan konvensional yang hanya menilai aspek fisik secara absolut sering kali belum mampu menggambarkan efisiensi penggunaan energi internal atlet pelajar dalam mengelola beban kerja selama pertandingan (Kavanagh & Carling, 2019). Sebagai contoh terdapat dua (2) atlet pelajar mendapatkan nilai jarak tempuh yang relatif sama, tetapi memiliki respons fisiologis dan beban mekanis yang berbeda (Ide et al., 2023). Kasus ini menunjukkan bahwa volume aktivitas fisik yang sama tidak selalu menunjukkan tingkat efisiensi yang sama dalam penggunaan energi dan pengelolaan beban kerja tubuh (Reinhardt et al., 2020b). Dampak dari kasus tersebut adalah evaluasi performa yang hanya berfokus pada kuantitas aktivitas fisik memiliki kecenderungan yang kurang memperhatikan aspek efisiensi

fisiologis dan biomekanis yang sebenarnya sangat penting di perhatikan untuk memastikan performa atlet pelajar secara keseluruhan.

Karakterisasi posisi pemain yang berbeda-beda tentunya juga menentukan pendekatan analisis performa fisik yang secara khusus. Hal ini terjadi karena setiap posisi dalam permainan sepakbola memiliki tuntutan fisik yang berbeda sesuai dengan peran taktisnya dalam pertandingan (Pramdhan et al., 2025). Gelandang umumnya memiliki jarak tempuh yang lebih tinggi karena berperan dalam transisi antara fase menyerang dan bertahan (Aşçı et al., 2024; Pramdhan et al., 2025). Bek cenderung melakukan lebih banyak aktivitas perubahan arah dan akselerasi pendek untuk menjaga organisasi pertahanan, sedangkan penyerang lebih banyak melakukan aktivitas eksplosif seperti *sprint* untuk menciptakan peluang mencetak gol. Perbedaan tuntutan fisik pada berbagai posisi ini menunjukkan bahwa evaluasi performa atlet pelajar tanpa mempertimbangkan dasar posisi bermain dapat menghasilkan gambaran yang kurang akurat dalam menilai performa fisik atlet pelajar secara menyeluruh.

Masalah utama dalam penelitian tentang kinerja fisik pemain sepakbola pelajar adalah ketidakhadiran metode analisis yang dapat menggabungkan berbagai indikator kunci kinerja ke dalam satu sistem penelitian yang efisien dan menyeluruh. Sebagian besar penelitian sebelumnya masih menganalisis indikator performa seperti jarak tempuh, *PlayerLoad*, dan denyut jantung secara terpisah (Oliva-Lozano et al., 2023; Torreño et al., 2016). Keterkaitan hubungan antara ketiga indikator tersebut dapat memberikan informasi yang lebih mendalam mengenai efisiensi kerja fisik atlet pelajar selama pertandingan. Selain itu, kurangnya penelitian yang fokus pada analisis efisiensi fisik atlet pelajar menurut posisi bermain juga menjadi kekurangan yang signifikan dalam literatur ilmu olahraga. Situasi ini memiliki potensi yang menyebabkan ketidakakuratan dalam penilaian kinerja maupun pengembangan program Latihan yang tidak memperhatikan kebutuhan fisik dari tiap tiap posisi pada permainan sepakbola.

Pendekatan analisis yang lebih terintegrasi antara hasil fisik dengan output fisik yang dim keluarkan bisa dijadikan sebagai salah satu solusi untuk menentukan performa fisik atlet pelajar. Metode yang berlandaskan pada rasio efisiensi memberikan ruang untuk mengevaluasi kinerja fisik dengan lebih komprehensif dengan menghubungkan antara beban mekanis, respons fisiologis, dan output gerakan dari atlet pelajar. Rasio seperti *PlayerLoad* per meter, *HR* per meter, serta *PlayerLoad* per *HR* dapat memberikan wawasan yang lebih mendalam mengenai kemampuan atlet pelajar dalam menghasilkan kerja fisik yang optimal dengan biaya fisiologis yang lebih efisien (Manzi et al., 2022; Reche-Soto et al., 2019). Pendekatan atau metode analisis performa ini tidak hanya menilai seberapa banyak aktivitas fisik yang dilakukan atlet pelajar, tetapi juga seberapa efisien atlet pelajar tersebut dalam mengelola energi dan beban mekanis selama pertandingan.

Tinjauan literatur terbaru memperlihatkan bahwa kajian tentang efisiensi kinerja fisik melalui rasio multidimensi masih tergolong jarang atau sedikit. Sebagian besar penelitian cenderung menganalisis indikator kinerja secara terpisah tanpa menggabungkan berbagai parameter tersebut ke dalam satu kerangka evaluasi yang menyeluruh. Fenomena ini jelas terlihat dalam konteks riset sepakbola di Indonesia, dimana masih minim penelitian yang secara sistematis mengkategorikan efisiensi fisik atlet pelajar berdasarkan posisi bermain dengan menggabungkan indikator jarak tempuh, *PlayerLoad* dan denyut jantung. Dengan demikian, penelitian ini hadir untuk mengatasi kekurangan tersebut dengan meluncurkan suatu sistem penilaian efisiensi total yang mencerminkan kinerja atlet pelajar secara lebih menyeluruh dan terukur di berbagai posisi bermain.

Berdasarkan latar belakang tersebut, tujuan utama penelitian ini adalah untuk menganalisis dan membandingkan efisiensi fisik Atlet Sepakbola Pelajar berdasarkan posisi bermain, yaitu bek, gelandang, dan penyerang, melalui pendekatan kuantitatif berbasis rasio antara *PlayerLoad*, jarak tempuh, dan denyut jantung rata-rata atlet pelajar selama pertandingan. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk mengidentifikasi profil atlet pelajar dengan tingkat efisiensi fisik terbaik berdasarkan sistem skor efisiensi total yang dikembangkan dalam penelitian ini.

Urgensi penelitian ini terletak pada kontribusinya dalam menyediakan model evaluasi efisiensi fisik yang lebih praktis, objektif, dan relevan dengan tuntutan posisi bermain dalam sepakbola modern. Model efisiensi yang dikembangkan diharapkan dapat menjadi alat bantu bagi pelatih, pelatih fisik, maupun tim *sport science* dalam melakukan monitoring performa atlet pelajar secara lebih akurat, mengoptimalkan pengaturan beban latihan, serta mendukung pengambilan keputusan taktis berbasis

data. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya menawarkan keterbaruan dari aspek metodologi analisis performa, tetapi juga memberikan implikasi praktis yang berarti dalam pengembangan sistem pembinaan prestasi sepakbola berbasis pendekatan *sport science* modern.

## METODE

### *Desain Penelitian*

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif deskriptif analitik komparatif untuk mengevaluasi efisiensi fisik Atlet Sepakbola Pelajar berdasarkan posisi mereka saat bermain pada timnas AFF U-17. Variabel penelitian ini adalah variabel fisiologis berupa Heart Rate yang menunjukkan respons kardiovaskular dan variabel mekanis yaitu total berlari (m) yang menunjukkan volume kerja dan Playerload (PL) yang menunjukkan akumulasi percepatan, deselerasi, dan perubahan arah

### *Partisipan*

Subjek penelitian terdiri dari 20 atlet pelajar Timnas Sepakbola Indonesia U-17 tahun. Atlet pelajar dikelompokkan berdasarkan posisi utama yaitu bek (n=9), gelandang (n=6), dan penyerang (n=5). Kriteria inklusi secara khusus adalah tidak mengalami cedera, dan bersedia berpartisipasi dengan menandatangani *informed consent*. Karakteristik fisiologis subjek penelitian dengan semua atlet pelajar semua berjenis kelamin laki-laki, usia (rata-rata  $16,5 \pm 3,2$  tahun), tinggi badan ( $177,3 \pm 5,1$  cm), dan berat badan ( $72,8 \pm 4,9$  kg). Semua atlet pelajar telah menjalani periode prapenelitian yang sama dan berada dalam kondisi fisik prima saat pengambilan data.

### *Instrumen Penelitian*

Pengumpulan data menggunakan perangkat *GPS (Global Positioning System)* yang terintegrasi dengan akselerometer dan *heart rate monitor* atau pengukur denyut jantung. Spesifikasi instrumen: *GPS tracker* yaitu *Catapult OptimEye S5* dengan frekuensi sampling 10 Hz untuk merekam data spasial dan percepatan yang digunakan untuk mengukur jarak tempuh dan *PlayerLoad* dalam olahraga tim.

### *Prosedur Pengumpulan Data*

Prosedur pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan secara sistematis mulai dari pengambilan data awal berupa tinggi berat badan setelah itu melakukan pemanasan, pemasangan *GPS Tracker Catapult Eye S5* pada bagian punggung atlet pelajar sebelum pertandingan. Data tes diambil sesaat setelah dalam pertandingan resmi dilakukan. Data yang dikumpulkan hasil dari performa pertandingan yang diunduh melalui data *GPS Catapult openfield* meliputi Total jarak tempuh, akselerasi dalam berlari, denyut nadi rata-rata dan maksimum, *playerload (PL)* atau beban kerja selama pertandingan.

### *Analisis Data*

Data yang diperoleh dilakukan analisis statistik deskriptif digunakan untuk memberikan gambaran umum data, meliputi nilai rata-rata (*mean*), standar deviasi, serta nilai minimum dan maksimum dari variabel utama berupa total lari, *PlayerLoad*, dan denyut jantung rata-rata berdasarkan posisi Atlet Sepakbola Pelajar. Sebelum uji hipotesis dilakukan, data diuji normalitasnya menggunakan uji Shapiro-Wilk dengan hasil yang menunjukkan bahwa beberapa variabel tidak berdistribusi normal ( $p < 0,05$ ), sehingga analisis statistik inferensial dilanjutkan dengan pendekatan nonparametrik. Untuk mengetahui perbedaan antar posisi bermain (bek, gelandang, dan penyerang) pada ketiga variabel utama, dilakukan uji *Kruskal-Wallis*. Jika ditemukan perbedaan yang signifikan, analisis dilanjutkan dengan uji *post-hoc Mann-Whitney* yang disertai koreksi Bonferroni untuk menghindari peningkatan kesalahan tipe I. Selanjutnya, analisis korelasi dilakukan untuk mengevaluasi hubungan antarvariabel. Uji korelasi Spearman dilakukan untuk mengukur kekuatan dan arah hubungan antara total lari, *PlayerLoad*, dan rata-rata denyut jantung. Selain melakukan analisis antar variabel, penelitian ini juga menghitung skor efisiensi total setiap Atlet Sepakbola Pelajar berdasarkan tiga skala efisiensi. Skor tersebut digunakan untuk melakukan pemeringkatan efisiensi fisik dalam performa atlet pelajar dari yang tertinggi hingga terendah. Seluruh pengujian statistik dalam penelitian ini menggunakan tingkat signifikansi ( $\alpha$ ) sebesar 0,05, yang berarti perbedaan atau hubungan dianggap signifikan apabila nilai probabilitas ( $p$ ) kurang dari 0,05.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Tabel 1. Keseluran Data Atlet Pelajar Timnas Sepakbola

Posisi	total lari (m) <i>Average</i>	PlayerLoad (PL) <i>Mean</i>	Rata-rata HR (bpm) <i>Mean</i>
Back	5878,89 ± 443,38	568,44 ± 83,34	112,56 ± 20,03
Gelandang	6239,20 ± 594,99	642,00 ± 78,50	104,20 ± 19,94
Penyerang	5747,33 ± 317,47	581,33 ± 51,62	105,83 ± 23,97

Tabel 1 menyajikan statistik deskriptif berupa rata-rata (*mean*) dan standar deviasi (SD) dari tiga parameter utama yang diukur dalam penelitian ini, yaitu total lari (m), *PlayerLoad* (PL), dan rata-rata denyut jantung (HR), yang dikelompokkan berdasarkan tiga posisi bermain: bek, gelandang, dan penyerang.

Total Lari (m)

Berdasarkan tabel, posisi gelandang mencatatkan rata-rata total lari tertinggi dibandingkan posisi lainnya, yaitu sebesar 6.239,20 ± 594,99 meter. Hal ini mengindikasikan bahwa gelandang dengan area ruang gerak terbesar dalam sepakbola pasti memiliki volume gerak tertinggi selama pertandingan, sesuai tugas dan peran seorang gelandang menjadi penghubung antar lini dalam situasi menyerang atau bertahan. Sedangkan atlet pelajar dengan posisi penyerang mencatat rata-rata total lari terendah (5.747,33 ± 317,47 meter), diikuti oleh bek (5.878,89 ± 443,38 meter). Secara karakteristik permainan sepakbola, seorang penyerang cenderung melakukan gerakan eksplosif pada saat menerima bola untuk melakukan serangan dalam waktu yang singkat. Sebaliknya dengan seorang atlet pelajar posisi bertahan atau bek eksplosif dalam menghadang gerakan lawan untuk mencetak gol yang akhirnya menyebabkan rendahnya total lari(m)

PlayerLoad (PL)

Hasil analisis serupa dalam *PlayerLoad* atau beban kerja seorang atlet pelajar menunjukkan beban mekanik akibat percepatan, perlambatan, dan perubahan arah yang dilakukan oleh seorang atlet pelajar dengan posisi Gelandang mencatat nilai tertinggi dengan rata-rata PL sebesar 642,00 ± 78,50. Hal ini menunjukkan bahwa seorang atlet pelajar gelandang tidak hanya bergerak dalam waktu yang lebih lama, tetapi juga sering terlibat dalam aktivitas intensitas tinggi seperti berputar, merebut bola, dan mengubah arah secara tiba-tiba. Atlet pelajar dengan posisi Penyerang berada di urutan kedua dengan rata-rata PL 581,33 ± 51,62, diikuti bek dengan rata-rata PL 568,44 ± 83,34. Hal menarik yang ditemukan dalam analisis hasil ini adalah jumlah total lari atlet pelajar dengan posisi bek lebih tinggi tetapi hasil PL justru lebih rendah. Hal ini dapat diinterpretasikan bahwa pergerakan seorang atlet pelajar dengan posisi bek lebih terstruktur dengan cara mengatur pola gerak lawan atau posisi penyerang untuk mengikuti arah atau ruang gerak yang diciptakan, sehingga hasil beban mekanis yang dihasilkan oleh seorang pemain posisi bek lebih kecil dibandingkan penyerang yang sering melakukan gerakan eksplosif di area sempit.

Rata-rata Denyut Jantung (HR)

Sebaliknya, rata-rata denyut jantung tertinggi tercatat pada posisi bek (112,56 ± 20,03 bpm), diikuti penyerang (105,83 ± 23,97 bpm), dan denyut jantung terendah pada gelandang (104,20 ± 19,94 bpm). Temuan ini cukup menarik karena atlet pelajar dengan posisi gelandang memiliki beban eksternal berupa jarak tempuh dan PL tertinggi tetapi beban internal berupa denyut nadi (HR) rata-rata tercatat paling rendah. Hasil ini menunjukkan bahwa atlet pelajar dengan posisi gelandang memiliki kemampuan beradaptasi dengan karakteristik permainan untuk mendapatkan efisiensi dalam bergerak dengan tingkat kardiovaskular yang lebih baik walaupun posisi gelandang dipaksa untuk terus bergerak untuk membuka dan menutup ruang selama pertandingan. Hasil berbeda dengan seorang atlet pelajar dalam posisi bek atau bertahan dengan beban eksternal paling rendah tetapi memiliki respon denyut nadi yang lebih tinggi.

Secara analisis factor usia yang masih cukup muda pemain bertahan memiliki tekanan beban psikologis lebih tinggi walaupun aktifitas cenderung singkat. Tingkat kebugaran yang bervariasi juga menyebabkan kenaikan dalam penggunaan kardiovaskuler semakin tinggi.

Berdasarkan analisis deskriptif terlihat jelas bahwa beban kerja antar posisi menunjukkan hasil yang berbeda-beda. Atlet pelajar dengan posisi gelandang memiliki keunggulan dalam beban eksternal (jarak tempuh dan *PL*), namun menunjukkan beban internal (*HR*) yang lebih rendah. Sebaliknya atlet pelajar dengan posisi bek menunjukkan beban internal (*HR*) yang lebih tinggi meskipun beban eksternalnya lebih rendah. Variasi hasil ini menunjukkan bahwa perlunya pendekatan yang lebih komprehensif dalam menilai efisiensi performa Atlet Sepakbola Pelajar. Tabel dibawah akan menjelaskan lebih komprehensif bagaimana tingkat efisiensi fisiologis dan mekanis seorang atlet pelajar Tim Nasional Sepakbola AFF U17 tahun.

**Tabel 2.** Hasil Kruskal wallis

Variabel	<i>H-statistic</i>	<i>p-value</i>
Total Lari (m)	2.6097	0.2712
<i>PLayerLoad (PL)</i>	3.8582	0.1453
Rata-rata <i>HR (bpm)</i>	0.7933	0.6726

Dalam hasil total lari (m), *playerload (PL)*, dan dengan *heart rate average (HR)* menunjukkan dalam 3 posisi (bek, gelandang, penyerang) tidak terdapat perbedaan secara signifikan. Berdasarkan hasil uji Kruskal Wallis pada table 2 ditemukan bahwa efisiensi fisik antar posisi tidak dapat secara mutlak dijadikan dasar seperti dalam literatur Latihan fisik sepakbola. Keberagaman antar individu dalam satu posisi memberikan gambaran individu dalam monitoring dan evaluasi performa fisik semakin lebih relevan. Hasil ini juga memperkuat justifikasi untuk menggunakan pendekatan berbasis rasio efisiensi (seperti *PL/m*, *HR/m*, dan *PL/HR*) dalam mengevaluasi performa atlet pelajar karena parameter absolut saja tidak cukup sensitif untuk menangkap perbedaan antar posisi maupun antar individu. Dengan kata lain, dua atlet pelajar dari posisi berbeda mungkin memiliki nilai total lari yang sama tetapi efisiensi dalam menghasilkan beban internal dan eksternal tersebut bisa sangat bervariasi, dan variasi inilah yang menjadi fokus utama dalam penelitian ini.

**Tabel 3.** Hasil korelasi antar Variabel

Variabel 1	Variabel 2	Koefisien Korelasi (r)	Arah & Kekuatan
Total Lari (m)	<i>PLayerLoad (PL)</i>	0.8115	Sangat kuat, positif
Total Lari (m)	Rata-rata <i>HR (bpm)</i>	0.0709	Sangat lemah, positif
<i>PLayerLoad (PL)</i>	Rata-rata <i>HR (bpm)</i>	-0.0514	Sangat lemah, negatif

Hasil Tabel 3 merupakan hasil analisis korelasi untuk menguji keterkaitan pad 3 vairabel utama dalam penelitian ini yaitu total lari (m), *PlayerLoad (PL)*, dan rata-rata denyut jantung (*HR*). Analisis korelasi dilakukan menggunakan uji korelasi Pearson untuk mengetahui kekuatan dan arah hubungan antar variabel. Secara keseluruhan, hasil korelasi pada Tabel 3 memberikan dua hasil yang bisa berdampak dalam program Atlet Sepakbola Pelajar dimasa yang akan datang. Pertama, hubungan yang sangat kuat antara total lari dan *PlayerLoad* memvalidasi penggunaan kedua parameter ini secara bersama-sama untuk menggambarkan beban eksternal atlet pelajar. *Kedua*, lemahnya hubungan antara parameter beban eksternal (total lari dan *PL*) dengan beban internal (*HR*) menegaskan bahwa pentingnya unsur pendekatan dalam berbagai aspek atau dimensi dalam hal mengevaluasi performa. Terdapat dua atlet pelajar dengan total lari dan *PL* yang sama dapat menunjukkan respons *HR* yang sangat berbeda, hasil ini mengindikasikan perbedaan tingkat efisiensi fisiologis atau kondisi fisik. Bentuk pengembangan analisis metrik komposit berbasis rasio, seperti *PL/m*, *HR/m*, dan *PL/HR* sangat penting untuk dapat menentukan hasil perkembangan tim secara keseluruhan, Atlet pelajar yang memiliki karakteristik

fisiologis rendah tetapi mampu menghasilkan output fisik tinggi mencerminkan efisiensi fisik unggul dalam pertandingan.

**Tabel 4.** Peringkat\_Efisiensi\_Fisik\_Athlet pelajar

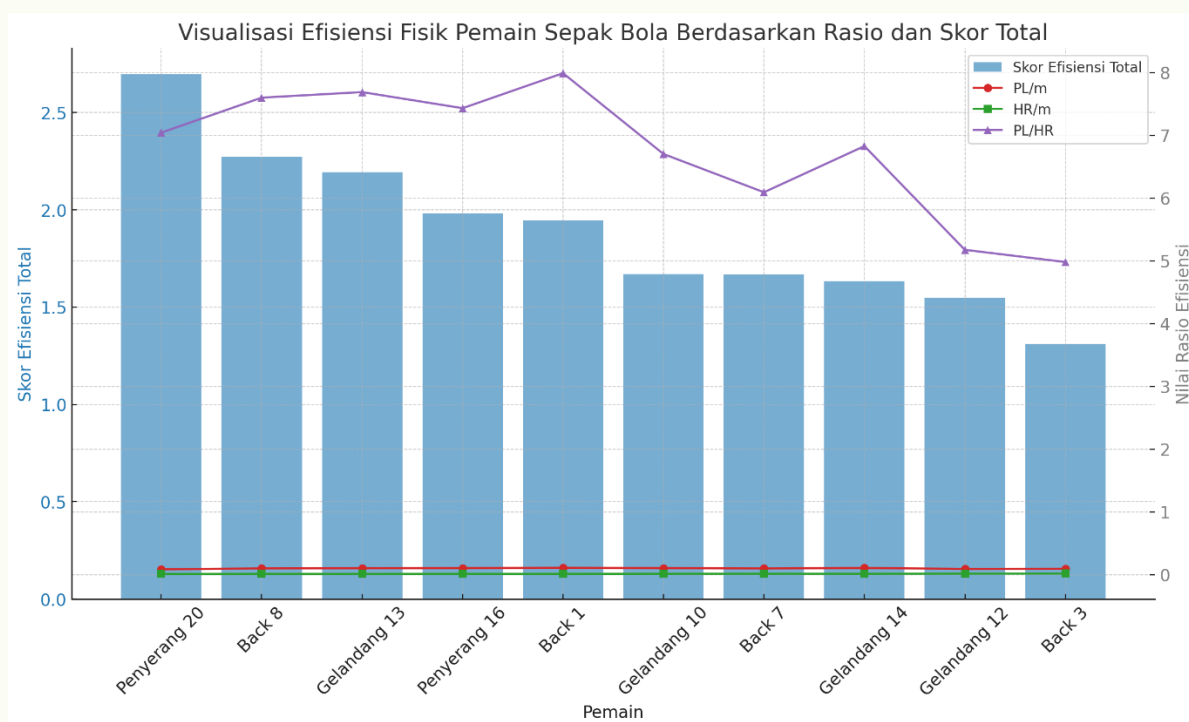
Kode Atlet pelajar	Posisi	Total Lari (m)	Player Load (PL)	Rata-rata HR (bpm)	PL per m	HR per m	PL per HR	Skor Efisiensi Total
Penyerang 20	Penyerang	5734	500	71	0.0872	0.0124	7.0423	2.696
Bek 8	Back	5658	570	75	0.1007	0.0133	7.6	2.2733
Gelandang 13	Gelandang	5729	592	77	0.1033	0.0134	7.6883	2.194
Penyerang 16	Penyerang	5708	602	81	0.1055	0.0142	7.4321	1.9821
Bek 1	Back	6906	767	96	0.1111	0.0139	7.9896	1.9466
Gelandang 10	Gelandang	7239	764	114	0.1055	0.0157	6.7018	1.6696
Bek 7	Back	5931	591	97	0.0996	0.0164	6.0928	1.6667
Gelandang 14	Gelandang	5912	635	93	0.1074	0.0157	6.828	1.6332
Gelandang 12	Gelandang	6024	559	108	0.0928	0.0179	5.1759	1.5481
Bek 3	Back	5659	538	108	0.0951	0.0191	4.9815	1.3108
Penyerang 18	Penyerang	5998	581	115	0.0969	0.0192	5.0522	1.2554
Bek 2	Back	5998	540	125	0.09	0.0208	4.32	1.1754
Bek 9	Back	5738	488	128	85	0.0223	3.8125	1.0917
Bek 4	Back	5677	513	122	0.0904	0.0215	4.2049	1.0696
Penyerang 17	Penyerang	6079	589	131	0.0969	0.0215	4.4962	0.9113
Gelandang 11	Gelandang	6292	660	129	0.1049	0.0205	5.1163	0.8708
Penyerang 15	Penyerang	5790	657	117	0.1135	0.0202	5.6154	716
Bek 5	Back	5313	510	124	96	0.0233	4.1129	686
Bek 6	Back	6030	599	138	0.0993	0.0229	4.3406	0.6614
Penyerang 19	Penyerang	5175	559	120	108	0.0232	4.6583	0.4046

Tabel diatas menunjukkan efisiensi fisik atlet pelajar berdasarkan tiga rasio utama: *PL per m*: Beban atlet dalam per meter lari semakin rendah maka semakin efisien secara mekanik. *HR per m*: Detak jantung per meter semakin rendah maka semakin efisien secara kardiovaskular. *PL per HR*: Beban kerja per denyut jantung jika semakin tinggi maka semakin efisien tubuh menghasilkan output fisik. Dapat disimpulkan efisiensi atlet pelajar *PlayerLoad* per meter semakin kecil semakin lebih baik, *HR* per meter semakin kecil semakin lebih baik, *PlayerLoad per HR* semakin besar semakin lebih baik. Atlet Sepakbola Pelajar yang paling efisien adalah penyerang 20 sangat efisien secara mekanik dan kardiovaskular, Bek 8 efisiensi dalam denyut jantung dan gelandang 13 efisiensi optimal di ouput fisik tinggi di semua aspek.

Tiga atlet pelajar dengan skor efisiensi total tertinggi berasal dari posisi yang berbeda, yaitu penyerang, bek, dan gelandang. Hal ini menunjukkan bahwa efisiensi fisik tidak ditentukan secara mutlak oleh tuntutan posisi, melainkan lebih dipengaruhi oleh karakteristik individu. Penyerang 20 menempati peringkat pertama dengan skor efisiensi total 2,696, jauh di atas atlet pelajar lainnya. Atlet pelajar ini mencatatkan nilai *PL/m* yang sangat rendah (0,0872) dan *HR/m* yang juga rendah (0,0124), yang menunjukkan efisiensi mekanik dan kardiovaskular yang luar biasa. Menariknya, Penyerang 20 juga memiliki rasio *PL/HR* tertinggi kedua (7,0423) yang berarti ia mampu menghasilkan beban mekanik yang cukup besar dengan respons denyut jantung yang sangat efisien. Data mentah menunjukkan bahwa meskipun total lari (5.734 m) dan *PlayerLoad*-nya (500) tidak termasuk yang tertinggi, ia mampu mempertahankan denyut jantung rata-rata yang sangat rendah (71 bpm). Kombinasi ini menjadikannya model atlet pelajar dengan efisiensi fisik unggul: output yang memadai dengan biaya fisiologis minimal. Bek 8 berada di peringkat kedua dengan skor 2,2733. Atlet pelajar ini menunjukkan profil yang sedikit berbeda dengan *PL/m* 0,1007 dan *HR/m* 0,0133 yang baik, serta *PL/HR* yang cukup tinggi (7,6). Denyut jantungnya yang rendah (75 bpm) dengan *PlayerLoad* 570 menunjukkan efisiensi kardiovaskular yang baik meskipun beban mekaniknya cukup signifikan. Gelandang 13 melengkapi tiga besar dengan skor 2,194. Rasio-rasionya relatif seimbang (*PL/m* 0,1033; *HR/m* 0,0134; *PL/HR* 7,6883), menunjukkan efisiensi yang optimal

di semua aspek. Menarik untuk dicatat bahwa Gelandang 13 memiliki total lari (5.729 m) yang lebih rendah dibandingkan rata-rata gelandang (6.239 m), namun justru lebih efisien.

Tabel 4 juga mengungkap fenomena menarik pada atlet pelajar dengan volume kerja absolut tinggi namun efisiensi rendah. **Bek 1** (peringkat 5, skor 1,9466) dan **Gelandang 10** (peringkat 6, skor 1,6696) mencatatkan total lari dan *PlayerLoad* tertinggi dibandingkan atlet pelajar lain (Bek 1: 6.906 m, *PL* 767; Gelandang 10: 7.239 m, *PL* 764). Namun, skor efisiensi mereka justru berada di peringkat menengah hingga bawah. Hal ini disebabkan oleh denyut jantung yang relatif tinggi (Bek 1: 96 bpm; Gelandang 10: 114 bpm) sehingga rasio *HR/m* mereka cukup tinggi. Bahkan, Gelandang 10 memiliki rasio *PL/HR* yang cukup rendah (6,7018). Ini mengindikasikan bahwa meskipun mereka bekerja sangat keras secara eksternal, "kebutuhan" fisiologis yang harus diperlukan juga tinggi, sehingga efisiensi keseluruhannya tidak sebaik atlet pelajar dengan volume lebih rendah namun denyut jantung lebih terkendali.



Gambar 1. Efisiensi Fisik Atlet Sepakbola Pelajar Timnas

Gambar 1 menyajikan visualisasi data berupa diagram sebar (*scatter plot*) yang menggambarkan distribusi skor efisiensi total seluruh atlet pelajar ( $n=20$ ) berdasarkan kelompok posisi bermain (bek, gelandang, dan penyerang). Visualisasi ini bertujuan untuk memberikan gambaran yang lebih intuitif mengenai pola efisiensi fisik antarposisi serta variabilitas individu di dalam setiap kelompok posisi. Sumbu vertikal (Y) pada gambar menunjukkan skor efisiensi total yang telah dihitung berdasarkan integrasi ketiga rasio efisiensi (*PL/m*, *HR/m*, dan *PL/HR*), sedangkan sumbu horizontal (X) menunjukkan kode atau identitas atlet pelajar yang dikelompokkan berdasarkan posisi.

Gambar 1 juga memperlihatkan tingginya variabilitas skor efisiensi di dalam setiap kelompok posisi: Kelompok Bek: Rentang skor efisiensi bek sangat lebar, dari bek 8 dengan skor tertinggi (2,273) hingga bek 6 dan bek 5 dengan skor terendah (masing-masing 0,661 dan 0,686). Bahkan dalam posisi yang sama, terdapat perbedaan efisiensi yang sangat mencolok, menunjukkan bahwa faktor individu seperti tingkat kebugaran, teknik gerak, dan strategi bermain sangat memengaruhi efisiensi fisik. Kelompok Gelandang: Demikian pula pada kelompok gelandang, terlihat variasi dari Gelandang 13 dengan skor tinggi (2,194) hingga Gelandang 11 dengan skor rendah (0,871). Menariknya, Gelandang 10 yang memiliki volume kerja absolut tertinggi (total lari 7.239 m, *PL* 764) justru berada di peringkat menengah dengan skor 1,670, bukan yang tertinggi dalam kelompoknya. Kelompok Penyerang: Kelompok ini menunjukkan variasi paling ekstrem, dengan Penyerang 20 sebagai atlet pelajar paling efisien secara keseluruhan, namun juga memiliki Penyerang 19 sebagai atlet pelajar dengan efisiensi terendah (skor

0,405). Bahkan dalam posisi yang sama, terdapat kesenjangan efisiensi yang sangat besar, yang mengindikasikan perlunya pendekatan individual dalam pembinaan dan evaluasi.

### Pembahasan

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efisiensi fisik Atlet Sepakbola Pelajar berdasarkan parameter total lari, *PlayerLoad* (*PL*), dan denyut jantung rata-rata (*HR*), serta mengintegrasikannya ke dalam rasio efisiensi yang menggambarkan kinerja fisiologis dan mekanik atlet pelajar. Hasil analisis menunjukkan bahwa terdapat hubungan yang sangat kuat dan positif antara total lari dan *PlayerLoad* ( $r = 0.8115$ ), yang mengindikasikan bahwa semakin besar jarak tempuh atlet pelajar, maka semakin tinggi pula akumulasi beban mekanik yang dicatat perangkat. Temuan ini konsisten dengan penelitian sebelumnya yang menyebutkan bahwa *PlayerLoad* merupakan indikator sensitif terhadap volume kerja eksternal yang melibatkan akselerasi dan perubahan arah secara intensif (Spyrou et al., 2022). Studi lain menemukan hubungan yang signifikan antara beban atlet pelajar dan berbagai metrik *sprint*, termasuk jumlah *sprint*, kecepatan tertinggi maksimum, jarak *sprint*, volume *sprint*, dan jumlah akselerasi dan deselerasi pada zona kecepatan yang berbeda, menunjukkan bahwa metrik ini penting untuk memahami tuntutan beban eksternal pada Atlet Sepakbola Pelajar wanita perguruan tinggi (Bradley & Ade, 2018; Dobreff et al., 2020; Prudholme et al., 2023; Sumarno & Ristiawan, 2022). Sebaliknya, hubungan antara *HR* dengan total lari maupun *PL* sangat lemah, yang menunjukkan bahwa beban internal tidak selalu sejajar dengan beban eksternal (Oliva-Lozano et al., 2023; Torreño et al., 2016). Variasi ini dapat disebabkan oleh faktor kebugaran kardiovaskular individu, efisiensi kerja otot, serta adaptasi fisiologis terhadap intensitas aktivitas yang berbeda-beda (Page et al., 2015).

Walaupun analisis Kruskal-Wallis tidak menunjukkan perbedaan signifikan antar posisi bermain dalam ketiga variabel utama ( $p > 0.05$ ), pola data tetap memberikan indikasi menarik. Gelandang cenderung memiliki total jarak tempuh tertinggi, sedangkan atlet pelajar bertahan mencatat *PlayerLoad* yang relatif tinggi dengan *HR* yang bervariasi. Penyerang umumnya memiliki *HR* yang lebih tinggi namun dengan *PlayerLoad* yang lebih rendah. Temuan ini mengindikasikan bahwa distribusi beban tidak hanya ditentukan oleh posisi, tetapi juga oleh karakteristik individu dan peran taktis masing-masing atlet pelajar di lapangan (Baptista et al., 2018; Miguel et al., 2022). Oleh karena itu, evaluasi performa berbasis output absolut kurang mampu menangkap kompleksitas efisiensi kerja fisik atlet pelajar.

Pendekatan berbasis rasio efisiensi, seperti *PL* per meter, *HR* per meter, dan *PL* per *HR*, justru memberikan yang lebih utuh terkait efektivitas kerja fisik atlet pelajar. Penyerang 20 memiliki skor efisiensi tertinggi meskipun tidak mencatat angka tertinggi pada total lari maupun *PL*, menunjukkan kemampuannya menghasilkan output fisik yang optimal dengan biaya fisiologis yang minimal. Di sisi lain, atlet pelajar seperti Bek 1 atau Gelandang 10 menunjukkan total kerja yang tinggi namun efisiensi yang rendah, yang mengindikasikan beban fisiologis yang berlebihan atau kurangnya optimalisasi mekanik. Ini mendukung literatur yang menyebutkan bahwa analisis antara beban internal dan eksternal lebih akurat dalam menggambarkan kesiapan performa dan potensi kelelahan laten pada atlet.

Secara praktis, temuan ini sangat relevan bagi pelatih dan sport scientist dalam Latihan program latihan yang adaptif dan personal. Atlet pelajar dengan rasio efisiensi rendah dapat diarahkan untuk menjalani intervensi kebugaran atau perbaikan teknik gerak, sementara atlet pelajar dengan efisiensi tinggi dapat dioptimalkan secara strategis tanpa risiko *overtraining*. Dengan demikian, evaluasi performa berbasis efisiensi memberikan nilai tambah pendekatan konvensional yang hanya mengandalkan volume kerja.

Penelitian ini memiliki keterbatasan seperti jumlah sampel terbatas dan belum diintegrasikannya faktor teknis, taktis, serta psikologis. Penelitian selanjutnya disarankan melibatkan sampel lebih besar dari berbagai level kompetisi, menggunakan desain longitudinal untuk memantau perubahan efisiensi dari waktu ke waktu, serta mengintegrasikan parameter seperti akurasi umpan atau kontribusi taktis. Analisis berdasarkan fase permainan juga dapat memberikan wawasan lebih baik. Dengan segala keterbatasannya, model evaluasi berbasis rasio efisiensi yang dikembangkan tetap menawarkan alat praktis, objektif, dan relevan untuk optimalisasi beban latihan, deteksi kelelahan, dan pengambilan keputusan taktis berbasis bukti, serta diharapkan dapat mendorong adopsi pendekatan berbasis data dalam praktik kepelatihan sepakbola modern.

## SIMPULAN

Penelitian ini menemukan bahwa dengan evaluasi efisiensi fisik Atlet Sepakbola Pelajar lebih tepat dilakukan dengan mengintegrasikan parameter beban mekanik dan fisiologis ke dalam rasio analitis yang dapat menilai efektivitas kerja fisik per individu dalam sebuah pertandingan. Temuan pertama yaitu tidak terdapat perbedaan signifikan dalam penggunaan kapasitas fisik dengan performa atlet pelar di pertandingan, kedua yaitu terdapat korelasi yang sangat kuat antara jarak berlari dengan beban atlet/*PlayerLoad*. Dan ketiga adalah jarak berlari atlet memiliki hubungan korelasi yang lemah dengan Denyut Nadi Pemain (*Heart rate/Meter*). Kesimpulannya adalah dalam peningkatan performa permainan bahwa output fisik absolut seperti total lari dan *PlayerLoad* tidak selalu mencerminkan efisiensi performa dalam sebuah pertandingan.

Penelitian ini juga memberikan kontribusi teoretis dalam menganalisis evaluasi performa sepakbola harus dilakukan dengan pendekatan yang lebih holistik melalui integrasi parameter mekanis (*PlayerLoad*) dan fisiologis (denyut jantung) ke dalam metrik komposit berbasis rasio efisiensi. Pendekatan analisis performa dapat dilakukan secara berulang dan diubah sesuai dengan kebutuhan. Penggabungan parameter fisik, teknik, taktik dan mental menjadi kebutuhan utama penelitian di masa yang akan datang untuk mendapatkan kualitas atlet pelajar yang terbaik dalam efektif dan efisien dalam bermain sepakbola.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kami ucapkan kepada universitas negeri Jakarta yang telah memberikan kesempatan untuk melakukan penelitian dan kepada coaching staf timnas sepakbola Indonesia yang telah Mengijinkan dan membantu proses pengambilan data untuk penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aşçı, A., Köklü, Y., & Alemdaroğlu, U. (2024). Variation in Match Physical Performance in Turkish Super League Soccer *Student Athlete* by Position Across Four Seasons. *Pamukkale Journal of Sport sciences*, 15(1), 188–202. <https://doi.org/10.54141/psbd.1407381>
- Baptista, I., Johansen, D., Seabra, A., & Pettersen, S. A. (2018). Position specific *PLayer* load during match-*PLay* in a professional football club. *PLOS ONE*, 13(5), e0198115. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0198115>
- Bradley, P. S., & Ade, J. D. (2018). Are Current Physical Match Performance Metrics in Elite Soccer Fit for Purpose or Is the Adoption of an Integrated Approach Needed? *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 13(5), 656–664. <https://doi.org/10.1123/ijssp.2017-0433>
- Dobreff, G., Revisnyei, P., Schuth, G., Szigeti, G., Toka, L., & Pašić, A. (2020). *Physical Performance Optimization in Football* (pp. 51–61). [https://doi.org/10.1007/978-3-030-64912-8\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-030-64912-8_5)
- Filter, A., Olivares-Jabalera, J., Dos'Santos, T., Madruga, M., Lozano, J., Molina, A., Santalla, A., Requena, B., & Loturco, I. (2023a). High-intensity Actions in Elite Soccer: Current Status and Future Perspectives. *International Journal of Sports Medicine*, 44(08), 535–544. <https://doi.org/10.1055/a-2013-1661>
- Filter, A., Olivares-Jabalera, J., Dos'Santos, T., Madruga, M., Lozano, J., Molina, A., Santalla, A., Requena, B., & Loturco, I. (2023b). High-intensity Actions in Elite Soccer: Current Status and Future Perspectives. *International Journal of Sports Medicine*, 44(08), 535–544. <https://doi.org/10.1055/a-2013-1661>
- Gomez-Ruano, M.-A., Ibáñez, S. J., & Leicht, A. S. (2020). Editorial: Performance Analysis in Sport. *Frontiers in Psychology*, 11. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.611634>
- Ide, B., Silvatti, A., Staunton, C., Marocolo, M., Oranchuk, D., & Mota, G. (2023). External and Internal Loads in Sports Science: Time to Rethink? *International Journal of Strength and Conditioning*, 3(1). <https://doi.org/10.47206/ijsc.v3i1.234>
- Ju, W., Doran, D., Hawkins, R., Evans, M., Laws, A., & Bradley, P. (2023). Contextualised high-intensity running profiles of elite football *Student Athlete* with reference to general and specialised tactical roles. *Biology of Sport*, 40(1), 291–301. <https://doi.org/10.5114/biolport.2023.116003>

- Kavanagh, R., & Carling, C. (2019). Analysis of external workload in soccer training and competition: generic versus individually determined speed *tHR*esholds. *Science and Medicine in Football*, 3(1), 83–84. <https://doi.org/10.1080/24733938.2018.1562279>
- Lechner, S., Ammar, A., BoukHRis, O., Trabelsi, K., M Glenn, J., Schwarz, J., Hammouda, O., Zmijewski, P., Chtourou, H., Driss, T., & Hoekelmann, A. (2023). Monitoring training load in youth soccer *Student Athlete*: effects of a six-week preparatory training program and the associations between external and internal loads. *Biology of Sport*, 40(1), 63–75. <https://doi.org/10.5114/biol sport.2023.112094>
- Lin, L., Ji, X., Zhang, L., Weng, H., & Wang, X. (2023). Peak Running, Mechanical, and Physiological Demands of Professional Men’s Field Hockey Matches. *Journal of Human Kinetics*, 87, 133–141. <https://doi.org/10.5114/jhk/161551>
- Llana, S., Burriel, B., Madrero, P., & Fernández, J. (2022). *Is it worth the effort? Understanding and contextualizing physical metrics in soccer*.
- Long, G. M., Joyce, S. M., Herrington, R. T., Fox, K. B., & Mumaugh, J. E. (2023). External Workloads Vary by Position and Game Result in US-based Professional Soccer *Student Athlete*. *International Journal of Exercise Science*, 16(6), 688–699. <https://doi.org/10.70252/MYNU3907>
- Manzi, V., Annino, G., Savoia, C., Caminiti, G., Padua, E., Masucci, M., D’Onofrio, R., & Iellamo, F. (2022). Relationship between aerobic fitness and metabolic power metrics in elite male soccer *Student Athlete*. *Biology of Sport*, 39(3), 599–606. <https://doi.org/10.5114/biol sport.2022.106389>
- Miguel, M., Cortez, A., Romero, F., Loureiro, N., García-Rubio, J., & Ibáñez, S. J. (2022). Daily and weekly external loads in the microcycle: Characterization and comparison between *PL*aying positions on amateur soccer. *Frontiers in Sports and Active Living*, 4. <https://doi.org/10.3389/fspor.2022.943367>
- Modric, T., Malone, J. J., Versic, S., Andrzejewski, M., Chmura, P., Konefał, M., Drid, P., & Sekulic, D. (2022). The influence of physical performance on technical and tactical outcomes in the UEFA Champions League. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, 14(1), 179. <https://doi.org/10.1186/s13102-022-00573-4>
- Mohammed, B., Said, E. M., Lotfi, Z., Nourddine, E., & Fatima-ZaHRa, G. (2025). Tactical and Physical Profiling of the Moroccan National Football Team at the FIFA World Cup Qatar 2022: A Data-Driven and Artificial Intelligence-Assisted Analysis. *ApPLied Sciences*, 15(18), 9994. <https://doi.org/10.3390/app15189994>
- MOHR, M., KRUSTRUP, P., & BANGSBO, J. (2003). Match performance of high-standard soccer *Student Athlete* with special reference to development of fatigue. *Journal of Sports Sciences*, 21(7), 519–528. <https://doi.org/10.1080/0264041031000071182>
- Morciano, G., Zingoni, A., Morachioli, A., & Calabro, G. (2022). Machine Learning prediction of the expected performance of football *PL*ayer during training. *2022 IEEE International Conference on Metrology for Extended Reality, Artificial Intelligence and Neural Engineering (MetroXRINE)*, 574–578. <https://doi.org/10.1109/MetroXRINE54828.2022.9967621>
- Ogugua Chimezie Obi, Samuel Onimisi Dawodu, Shedrack Onwusinkwue, Femi Osasona, Akoh Atadoga, & Andrew Ifesinachi Daraojimba. (2024). Data science in sports analytics: A review of performance optimization and fan engagemen. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 21(1), 2663–2670. <https://doi.org/10.30574/wjarr.2024.21.1.0370>
- Oliva-Lozano, J. M., Conte, D., Fortes, V., & Muyor, J. M. (2023). ExPLoring the Use of *PL*ayer Load in Elite Soccer *Student Athlete*. *Sports Health: A Multidisciplinary Approach*, 15(1), 61–66. <https://doi.org/10.1177/19417381211065768>
- Orendurff, M. S., Walker, J. D., Jovanovic, M., L. Tulchin, K., Levy, M., & Hoffmann, D. K. (2010). Intensity and Duration of Intermittent Exercise and Recovery During a Soccer Match. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(10), 2683–2692. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181bac463>

- Page, R. M., Marrin, K., Brogden, C. M., & Greig, M. (2015). Biomechanical and Physiological Response to a Contemporary Soccer Match-Play Simulation. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(10), 2860–2866. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000949>
- Pramdhan, K., Permadi, A. A., Hermawan, I., Ward, R. F. V., Kusnadi, N., & Bakar, A. (2025). Position-specific performance metrics of professional football *Student Athlete*. A multidimensional analysis. *Fizjoterapia Polska*, 25(3). <https://doi.org/10.56984/8ZG7D19Y1TI>
- Prudholme, D. C., Coburn, J. W., Lynn, S. K., & Lockie, R. G. (2023). Relationships between *Sprint*, Acceleration, and Deceleration Metrics with Training Load in Division I Collegiate Women's Soccer *Student Athlete*. *Journal of Human Kinetics*, 85(1), 53–62. <https://doi.org/10.2478/hukin-2022-0109>
- Raabe, D., Biermann, H., Bassek, M., Wohlan, M., Komitova, R., Rein, R., Groot, T. K., & Memmert, D. (2022). *floodlight -- A high-level, data-driven sports analytics framework*.
- Reche-Soto, P., Cardona-Nieto, D., Diaz-Suarez, A., Bastida-Castillo, A., Gomez-Carmona, C., Garcia-Rubio, J., & Pino-Ortega, J. (2019). PLayer Load and Metabolic Power Dynamics as Load Quantifiers in Soccer. *Journal of Human Kinetics*, 69(1), 259–269. <https://doi.org/10.2478/hukin-2018-0072>
- Reinhardt, L., Schulze, S., Schwesig, R., & Kurz, E. (2020a). Physical Match Performance in Sub-elite Soccer *Student Athlete* – Introduction of a new Index. *International Journal of Sports Medicine*, 41(12), 858–866. <https://doi.org/10.1055/a-1165-1950>
- Reinhardt, L., Schulze, S., Schwesig, R., & Kurz, E. (2020b). Physical Match Performance in Sub-elite Soccer *Student Athlete* – Introduction of a new Index. *International Journal of Sports Medicine*, 41(12), 858–866. <https://doi.org/10.1055/a-1165-1950>
- Schimpchen, J., Gopaladesikan, S., & Meyer, T. (2021). The intermittent nature of PLayer physical output in professional football matches: An analysis of sequences of peak intensity and associated fatigue responses. *European Journal of Sport science*, 21(6), 793–802. <https://doi.org/10.1080/17461391.2020.1776400>
- Spyrou, K., T. Freitas, T., Marín-Cascales, E., Herrero-Carrasco, R., & E. Alcaraz, P. (2022). External match load and the influence of contextual factors in elite futsal. *Biology of Sport*, 39(2), 349–354. <https://doi.org/10.5114/biolSport.2022.105332>
- Sumarno, S., & Ristiawan, B. (2022). Tuntutan fisik dan karakteristik kinerja Atlet Sepakbola Pelajar berdasarkan posisi bermain. *Sepakbola*, 2(2), 59–68. <https://doi.org/10.33292/sepakbola.v2i2.193>
- Torreño, N., Munguía-Izquierdo, D., Coutts, A., de Villarreal, E. S., Asian-Clemente, J., & Suarez-Arrones, L. (2016). Relationship Between External and Internal Loads of Professional Soccer *Student Athlete* During Full Matches in Official Games Using Global Positioning Systems and Heart-Rate Technology. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 11(7), 940–946. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2015-0252>
- Wang, S., Li, Z., & Chen, H. (2025). An Intelligent Physical Training System in Football Education. *Lecture Notes in Education, Arts, Management and Social Science*, 3(3), 35–40. <https://doi.org/10.18063/lne.v3i3.816>