

**DINAMIKA TAKTIS PERGANTIAN PEMAIN DAN STABILITAS
PERTAHANAN: ANALISIS TEMPORAL KELELAHAN FISIK DAN
KOGNITIF PADA LIGA PROFESIONAL INDONESIA**

Rodhi Rusdianto Hidayat¹, Evi Sinaga² & Miftah Fariz prima Putra³

¹⁻³ Program Studi Ilmu Keolahragaan, Fakultas Ilmu Keolahragaan, Universitas Cenderawasih,
Indonesia

✉ E-mail: hidayatrod@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini menyajikan analisis komprehensif mengenai dinamika taktis pergantian pemain dan dampaknya terhadap stabilitas pertahanan dalam kompetisi sepak bola profesional. Melalui pendekatan observasional retrospektif terhadap data makro dari satu musim kompetisi penuh, studi ini membedah distribusi temporal dari kejadian gol, kartu kuning, dan intervensi pelatih yang dikelompokkan ke dalam enam interval waktu. Analisis mengungkap keberadaan bias keuntungan kandang (home advantage) yang signifikan, di mana tim tandang menanggung beban hukuman disipliner yang jauh lebih tinggi sebagai manifestasi dari tekanan psikologis dan kecemasan situasional yang diinduksi oleh penonton, sebuah fenomena yang secara empiris memengaruhi kognisi wasit. Temuan krusial menunjukkan terjadinya eskalasi non-linear pada fase akhir pertandingan (menit 76–90+'), di mana laju kebobolan (23,9%) mencapai puncaknya bersamaan dengan lonjakan pelanggaran (33,1%). Fase ini bertepatan dengan tingkat konsentrasi pergantian pemain tertinggi (40,6%), mengindikasikan ketidaksesuaian temporal (temporal mismatch). Intervensi pelatih terbukti bersifat reaktif terhadap keruntuhan organisasi pertahanan akibat depleksi glikogen dan kelelahan kognitif. Selain itu, studi ini membedah fenomena kausalitas terbalik (reverse causality) berdasarkan status pertandingan, di mana pergantian pemain dini berkorelasi dengan produktivitas serangan akhir, namun lebih sering dipicu oleh kondisi defisit taktis awal. Kesimpulan dari studi ini menuntut pergeseran paradigma kepelatihan menuju mitigasi kelelahan proaktif.

Kata kunci : dinamika taktis; kausalitas terbalik; kelelahan kognitif; stabilitas pertahanan; sepakbola

Abstract

This study presents a comprehensive analysis of the tactical dynamics of player substitutions and their impact on defensive stability in professional football. Utilizing a retrospective observational approach on macro-event data from a full competitive season, this research dissects the temporal distribution of goals, yellow cards, and coaching interventions grouped into six time intervals. The analysis reveals a significant home advantage bias, where away teams bear a substantially higher burden of disciplinary sanctions as a manifestation of psychological pressure and situational anxiety induced by the crowd, a phenomenon empirically shown to influence referee cognition. Crucial findings highlight a non-linear escalation during the final match phase (minutes 76–90+'), where the rate of goals conceded (23.9%) peaks concurrently with a surge in defensive fouls (33.1%). This phase coincides with the highest concentration of substitutions (40.6%), indicating a temporal mismatch. Coaching interventions prove to be reactive to the collapse of defensive organization caused by glycogen depletion and cognitive fatigue. Furthermore, the study dissects the phenomenon of reverse causality based on game state, where early substitutions correlate with late-game offensive productivity but are predominantly triggered by initial tactical deficits. The conclusions demand a paradigm shift in coaching towards proactive fatigue mitigation.

Keywords: tactical dynamics; reverse causality; cognitive fatigue; defensive stability; football.

Alamat Korespondensi :
Rodhi Rusdianto Hidayat
hidayatrod@gmail.com

PENDAHULUAN

Evolusi permainan sepak bola modern telah mengubah lanskap tuntutan fisik dan kognitif yang dibebankan kepada para pemain secara dramatis, menciptakan ekosistem olahraga yang beroperasi pada batas maksimal kapasitas fisiologis manusia (Pratama, Saleh, et al., 2025; Ryan Byrne, 2016). Sepak bola tidak lagi sekadar menuntut daya tahan kardiovaskular dasar, melainkan telah bertransformasi menjadi disiplin interval intensitas tinggi yang ditandai dengan repetisi aksi-aksi eksplosif seperti sprint jarak pendek, akselerasi tajam, deselerasi tiba-tiba, dan perubahan arah yang konstan (Alghannam, 2012). Data empiris menunjukkan bahwa frekuensi sprint dalam sepak bola elite telah meningkat sekitar 85% dibandingkan dekade-dekade sebelumnya, sementara aksi intensitas tinggi secara umum melonjak antara 30% hingga 50% (Cadence, 2026). Peningkatan tempo dan intensitas permainan ini secara inheren mempercepat laju akumulasi kelelahan (*fatigue accumulation*), baik secara perifer di tingkat jaringan otot maupun secara sentral di tingkat sistem saraf dan kognitif (Will Sparker, 2025). Kelelahan dalam konteks makro sepak bola didefinisikan sebagai penurunan kapasitas fisik dan mental yang dapat dibalikkan (*reversible decline*), yang bermanifestasi secara nyata pada penurunan tingkat kerja, disfungsi eksekusi teknis, dan presisi pengambilan keputusan yang memburuk, khususnya saat memasuki fase akhir pertandingan (Alghannam, 2012).

Manifestasi kelelahan ini menjadi semakin kompleks ketika dianalisis melalui lensa bioenergetika. Selama durasi sembilan puluh menit waktu normal, pemain sangat bergantung pada cadangan glikogen otot sebagai substrat dominan untuk produksi energi, di mana karbohidrat menyumbang sekitar 60% hingga 70% dari total kebutuhan energi hari pertandingan (Cadence, 2026). Aksi sprint berdurasi enam detik saja dapat menguras hingga 50% adenosina trifosfat (ATP) yang ditarik dari glikogen otot (Cadence, 2026). Penipisan glikogen (*glycogen depletion*) yang terjadi secara progresif ini, terutama pada serat otot kedut cepat (*fast-twitch fibers*), berdampak langsung pada ketidakmampuan pemain untuk mempertahankan daya ledak otot pada fase akhir pertandingan, yang sering kali berujung pada kerentanan terhadap cedera (Chmiel & Kurpas, 2026). Lebih jauh lagi, penumpukan metabolit sekunder mengganggu kontraksi neuromuskular, sementara mekanisme dehidrasi yang tidak termitigasi secara adekuat memperparah stres kardiovaskular secara eksponensial (Marqués-Jiménez et al., 2017).

Kondisi kerentanan fisiologis ini diperburuk secara signifikan oleh faktor lingkungan yang spesifik, terutama bagi kompetisi liga profesional yang beroperasi di wilayah beriklim tropis seperti Indonesia. Iklim tropis menghadirkan tantangan termal ekstrem yang merupakan kombinasi mematikan dari suhu udara ambien yang tinggi, paparan radiasi matahari, dan kelembapan absolut yang masif. Indikator tekanan panas lingkungan, yang secara saintifik diukur menggunakan parameter *Wet-Bulb Globe Temperature (WBGT)*, memainkan peran vital dalam memetakan batas toleransi sistem termoregulasi tubuh manusia (Grundstein et al., 2015; Korey Stringer Institute, 2026). Tingkat kelembapan yang tinggi menyabotase efisiensi mekanisme evaporasi keringat, yang notabene merupakan rute pendinginan utama bagi tubuh (Oliver Milman et al., 2026). Kegagalan tubuh untuk membuang panas sisa metabolisme menyebabkan lonjakan suhu inti tubuh, memaksa sistem kardiovaskular untuk mengalihkan volume darah dari otot yang bekerja ke permukaan kulit, dan secara langsung meningkatkan laju oksidasi karbohidrat (Cadence, 2026). Stres termal yang diinduksi oleh WBGT tinggi ini tidak hanya merusak kinerja kinetik otot, tetapi juga secara frontal menyerang fungsi kognitif, menurunkan tingkat kewaspadaan, merusak kesadaran spasial perifer, dan menumpulkan waktu reaksi pemain secara keseluruhan (Chmiel & Kurpas, 2026).

Sebagai bentuk respons institusional terhadap tuntutan biologis yang mengkhawatirkan dan jadwal kompetisi yang semakin berkerumun, Dewan Asosiasi Sepak Bola Internasional (IFAB) telah mengesahkan pembaruan regulasi yang secara permanen mengizinkan tim untuk melakukan hingga lima pergantian pemain per pertandingan, yang diatur dalam tiga jendela pergantian di luar waktu turun minum (Mike Hutton, 2026). Perubahan regulasi fundamental yang awalnya diinisiasi sebagai tindakan perlindungan pemain di era pandemi COVID-19 ini (MLSsoccer staff, 2020), kini telah secara mendasar mengubah paradigma manajemen skuad dan dinamika taktis di atas lapangan hijau. Penambahan kuota ini memberikan fleksibilitas operasional yang belum pernah ada sebelumnya bagi para pelatih untuk memitigasi kelelahan sistemik, mencegah cedera otot hamstring yang sering terjadi di fase akhir kompetisi, serta menginjeksi dinamisme taktis di tengah kebuntuan pertandingan (Alghannam, 2012; Will Sparker, 2025). Secara teoritis, keberadaan lima kuota pergantian pemain seharusnya menjadi instrumen terapeutik dan taktis yang krusial untuk mempertahankan stabilitas struktur pertahanan kolektif. Akan tetapi, efektivitas dari intervensi kepelatihan ini tidak beroperasi di ruang hampa; ia sangat terikat pada dimensi waktu pengambilan keputusan (*substitution timing*).

Di samping dinamika bio-taktis tersebut, fenomena keuntungan bermain di kandang (*home advantage*) hadir sebagai variabel sosiologis dan psikologis yang mendominasi arah pertandingan (Pollard, 1986). Literatur ilmiah olahraga telah berulang kali membuktikan bahwa tim yang beraksi di hadapan massa pendukungnya sendiri memiliki probabilitas kemenangan dan penguasaan permainan yang jauh melampaui statistik normal (Pollard, 1986). Keuntungan teritorial ini tidak sekadar lahir dari kenyamanan spasial, melainkan secara empiris didorong oleh asimetri beban psikologis dan bias pengambil keputusan. Sorotan tajam dari studi-studi terbaru—khususnya eksperimen alami yang terjadi pada era pertandingan tanpa penonton (*ghost games*) selama pembatasan pandemi—membuktikan bahwa wasit, secara tidak sadar, sangat rentan terhadap tekanan sosial yang diciptakan oleh kebisingan kerumunan (*crowd noise*) (Peter Rejcek, 2026). Kepadatan dan proksimitas suporter tuan rumah menciptakan lingkungan intimidatif yang memicu wasit untuk menjatuhkan lebih banyak hukuman kartu kepada pemain tandang (Carrington et al., 2025). Tekanan atmosferik ini melahirkan kecemasan situasional yang berat bagi tim tamu, yang sering kali bermanifestasi pada hilangnya disiplin taktis defensif (Bhagwande et al., 2024).

Meskipun fondasi teoritis mengenai profil aktivitas fisik pemain pengganti dan fenomena bias wasit telah banyak dieksplorasi secara terpisah (Padrón-Cabo et al., 2018), integrasi dari elemen-elemen ini masih sangat parsial. Terdapat kesenjangan literatur (*gap analysis*) yang substansial mengenai bagaimana intervensi kepelatihan—khususnya strategi penentuan waktu pergantian pemain—berinteraksi langsung dengan keruntuhan organisasi pertahanan di menit-menit akhir (*late-game collapse*), terutama ketika disilangkan dengan tekanan psikologis laga tandang di lingkungan kompetisi tropis. Evaluasi temporal yang presisi mengenai kapan pelatih menggunakan kuota lima pergantian ini, dan apakah intervensi tersebut bersifat preventif atau justru reaktif terhadap kebobolan, belum dipetakan secara tuntas dalam literatur sepak bola Asia Tenggara.

Penelitian ini bertujuan untuk memetakan secara komprehensif distribusi temporal dari laju gol, kedisiplinan kartu, dan tren keputusan substitusi. Melalui dekomposisi data interval 15 menit, penelitian ini menguji hipotesis mengenai dinamika taktis pergantian pemain, mengevaluasi fenomena kausalitas terbalik (*reverse causality*) dalam keputusan manajerial, dan membongkar apakah pelatih modern telah berhasil mengapitalisasi regulasi lima pergantian untuk mencegah keruntuhan pertahanan akibat akumulasi kelelahan bio-psikologis (Pratama, Saleh, et al., 2025).

METODE

Penelitian ini menggunakan rancangan penelitian observasional retrospektif (*retrospective observational study*) dengan pendekatan analisis kuantitatif yang bertumpu pada ekstraksi data kejadian makro (Hosokawa et al., 2018). Pendekatan ini dirancang secara khusus untuk menangkap pola dan tren eskalasi temporal dari kelelahan fisik maupun kognitif melalui proksi kejadian-kejadian krusial dalam sebuah pertandingan sepak bola resmi, serta mengkorelasikannya dengan keputusan intervensi taktis yang diambil oleh staf kepelatihan (Marqués-Jiménez et al., 2017; Staiano et al., 2025).

Populasi penelitian ini mencakup satu musim kompetisi penuh dari kasta tertinggi kompetisi sepak bola profesional. Sampel data yang digunakan bersifat sensus (*total sampling*), mencakup 306 pertandingan resmi yang mempertemukan 18 klub profesional dengan format kompetisi *double round-robin* (kandang dan tandang). Dataset mentah memuat rangkaian metrik fundamental pertandingan yang sangat rinci, meliputi identitas tim kandang dan tandang, agregat gol, menit spesifik terjadinya gol, menit dijatuhkannya kartu kuning dan merah, menit dilakukannya pergantian pemain, serta akumulasi waktu tambahan (*stoppage time*) pada kedua babak (Goossens et al., 2012; Krumer et al., 2024; Sun et al., 2024).

Dalam tahapan pengumpulan data dan pengembangan instrumen analitik, proses seleksi data utama (*main data selection*) dilakukan melalui filtrasi yang sangat ketat untuk menyaring variabel yang memiliki relevansi kausal dengan hipotesis penelitian (Njororai, 2014). Data yang diinklusi mencakup: (1) Variabel Temporal Kejadian (*Time-Stamp Events*), di mana menit terjadinya gol, kartu kuning, dan pergantian pemain dikelompokkan ke dalam enam interval waktu absolut yang masing-masing berdurasi 15 menit (01–15', 16–30', 31–45+', 46–60', 61–75', dan 76–90+') (Lorenzo-Martínez et al., 2021). Waktu tambahan di akhir babak pertama diintegrasikan ke dalam interval 31–45+', sementara waktu tambahan di akhir pertandingan diakumulasikan secara komprehensif ke dalam interval 76–90+'. Segmentasi ini krusial untuk merekonstruksi kurva akumulasi kelelahan (*fatigue accumulation curve*) pemain secara sekuensial (Linke et al., 2018). (2) Variabel Keputusan Taktis Pelatih (*Coaching Interventions*), yang diproksikan melalui menit pergantian pemain pertama (*First Substitution Timing*) untuk tim kandang dan tandang. Variabel ini diekstraksi untuk membedah orientasi taktis manajerial, yakni pendekatan preventif (pergantian diinstruksikan pada menit 36) versus pendekatan reaktif (pergantian tertunda hingga menit 83). (3) Variabel Dampak Kinerja Defensif & Disiplin (*Performance Outcomes*), yang difokuskan pada jumlah kebobolan gol dan akumulasi kartu kuning pada interval kuartal terakhir pertandingan sebagai indikator objektif degradasi kapasitas pertahanan kolektif tim.

Untuk menjaga kesederhanaan (*parsimony*) dan stabilitas model analisis statistik, beberapa elemen data secara sengaja dieksklusi dengan landasan ilmiah (Silberzahn et al., 2018). Pertama, kejadian kartu merah (yang secara total berjumlah 87 insiden) dieliminasi dari pemodelan interval temporal utama. Frekuensi insiden yang sangat rendah (dengan rerata marjinal 0,28 kartu merah per laga) menghasilkan distribusi data yang sangat menceng (*highly skewed*) dan rentan menciptakan bias heteroskedastisitas apabila dimasukkan ke dalam uji komparasi interval 15 menit (Badiella et al., 2023). Insiden kartu merah hanya dipertahankan sebagai variabel kontrol (*qualifier*). Kedua, data teknis spesifik mengenai posisi pemain, formasi spasial, dan pergerakan biometrik individual (seperti pelacakan GPS) dieksklusi karena keterbatasan tipe data kejadian makro yang dianalisis. Pemfokusan ini murni ditujukan agar parameter analitik tidak menyimpang dari dimensi waktu (*temporal*) dan dinamika keputusan pelatih (Silberzahn et al., 2018).

Teknik analisis data dijalankan melalui beberapa tahapan kuantifikasi. Tahap pertama meliputi analisis statistik deskriptif untuk merangkum profil makro kompetisi, membandingkan agregat kinerja gol, serta kedisiplinan antara tim kandang dan tim tandang guna memverifikasi efek Home Advantage. Tahap kedua melibatkan tabulasi silang (crosstabulation) dari distribusi temporal gol, kartu, dan pergantian pemain di sepanjang enam interval waktu. Tahap ketiga mengimplementasikan analisis komparasi (comparative analysis) terhadap parameter pengambilan keputusan taktis pelatih untuk mengungkap divergensi strategi berdasarkan status bermain (Game State) dan menguji rasionalitas fenomena kausalitas terbalik. Visualisasi analitik dibangun menggunakan bahasa pemrograman Python terapan, memanfaatkan modul matplotlib dan numpy untuk merekonstruksi grafik distribusi dual-axis yang mengomunikasikan laju eskalasi kejadian dan keputusan manajerial secara terintegrasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Interpretasi dari 306 pertandingan yang dianalisis menyingkap jaring interaksi yang sangat kompleks antara tekanan lingkungan psikologis, degradasi kapasitas neuro-muskular seiring berjalannya waktu, serta arsitektur pengambilan keputusan oleh pelatih. Pemaparan temuan diurai dalam diskursus saintifik yang holistik, membedah data melalui prisma ilmu keolahragaan modern.

Profil Makro Kompetisi: Validasi Empiris Home Advantage dan Disparitas Kedisiplinan

Evaluasi kumulatif terhadap performa tim selama satu musim penuh memverifikasi secara absolut keberadaan fenomena keuntungan kandang (*home advantage*). Profil kinerja dari tim yang bertindak sebagai tuan rumah menunjukkan supremasi yang persisten dalam produktivitas, sekaligus menyingkap asimetri yang tajam dalam parameter hukuman disipliner yang diterima oleh tim tamu.

Tabel 1. Profil deskriptif makro kompetisi sepak bola profesional (satu musim penuh)

Parameter pertandingan	Tim kandang	Tim tandang	Total kompetisi	Rerata per laga
Jumlah gol	427 (53,8%)	367 (46,2%)	794	2,59 gol
Kartu kuning	625 (47,1%)	703 (52,9%)	1328	4,34 kartu
Kartu merah	37 (42,5%)	50 (57,5%)	87	0,28 kartu
Pergantian pemain	919 (49,3%)	944 (50,7%)	1863	6,09 kali

Sebagaimana dipaparkan secara kuantitatif pada Tabel 1, tim kandang mendominasi arus pertandingan dengan mengamankan 53,8% dari total keseluruhan gol (427 gol). Di sisi lain, beban psikologis dan taktikal tim tandang terefleksi sangat jelas dari tingginya rasio sanksi disipliner yang diterima. Tim tamu mengakumulasi 703 kartu kuning (52,9%) dan secara drastis menelan 50 kartu merah (57,5%), menciptakan disparitas absolut jika dibandingkan dengan hukuman yang diterima tim kandang.

Ketimpangan statistik ini mengonfirmasi akar teori psikologi sosial dan sosiologi olahraga mengenai dinamika pertandingan tandang. Bermain di bawah intimidasi konstan, sorakan permusuhan, dan provokasi visual dari puluhan ribu suporter lokal memicu peningkatan produksi hormon kortisol yang merepresentasikan stres akut (Bhagwande et al., 2024; Chacón-Fernández et al., 2025; Goumas, 2014; Krumer et al., 2024). Keadaan ini menginduksi kecemasan situasional (*state anxiety*) pada kerangka saraf pusat pemain tandang. Tekanan emosional yang intens mereduksi kapasitas stabilitas emosi, yang secara motorik termanifestasi pada pengambilan keputusan ceroboh

dalam duel perebutan bola (Chacón-Fernández et al., 2025; Pollard, 1986). Tekel defensif yang biasanya terkontrol berubah menjadi intervensi fisik yang agresif, kasar, dan salah perhitungan sebagai mekanisme kompensasi atas hilangnya dominasi bola dan rasa frustrasi yang memuncak (Bhagwandeem et al., 2024; Krumer et al., 2024).

Namun demikian, penafsiran atas tingginya angka kartu kuning dan merah bagi tim tamu tidak akan komprehensif tanpa memasukkan variabel bias kognitif wasit (*referee bias*). Literatur saintifik olahraga dengan tegas mendokumentasikan bahwa wasit, terlepas dari tingkat profesionalisme dan pengalamannya, secara bawah sadar sangat rentan terhadap manipulasi psikologis yang diakibatkan oleh kebisingan kerumunan (*crowd noise*) (Gong, 2022). Kepadatan penonton di dalam stadion menciptakan resonansi suara yang mengintimidasi, mendistorsi objektivitas wasit dalam menilai pelanggaran tingkat tinggi (Goumas, 2014). Untuk menghindari reaksi negatif massal dan menjaga rasa aman pribadi, wasit cenderung memberikan perlakuan yang lebih lunak kepada pemain tuan rumah, dan sebaliknya, menghukum pemain tandang dengan standar yang lebih ketat (Pollard, 1986). Bukti empiris paling tak terbantahkan mengenai fenomena ini terkuak pada era pandemi COVID-19, di mana pelaksanaan pertandingan tanpa penonton (*ghost games*) di liga-liga top Eropa secara drastis menghilangkan keuntungan kandang dan menetralkan bias pemberian kartu kuning oleh wasit terhadap tim tamu (Leitner et al., 2023). Ketidadaan massa menyingkirkan elemen intimidasi dari proses pengambilan keputusan wasit, menegaskan bahwa kerumunan suporter adalah arsitek utama di balik tingginya disparitas kartu pada Tabel 1.

Distribusi Temporal: Dekomposisi Runtuhnya Pertahanan (Late-Game Collapse)

Analisis paling esensial dalam penelitian ini bersandar pada pemetaan sebaran temporal dari kejadian-kejadian di atas lapangan. Melalui stratifikasi waktu yang ketat, jejak-jejak penurunan kapasitas fungsional yang tidak kasat mata dapat dikonversi menjadi presipitasi data kuantitatif yang membuktikan terjadinya dekomposisi struktur pertahanan.

Tabel 2. Distribusi temporal kejadian per interval waktu (15 menit)

Interval menit	Jumlah gol	Kartu kuning	Pergantian pemain	Rasio gol (%)	Rasio kartu (%)	Rasio ganti (%)
01' - 15'	93	97	11	11,7%	7,3%	0,6%
16' - 30'	110	150	32	13,9%	11,3%	1,7%
31' - 45+'	147	266	314	18,5%	20,0%	16,9%
46' - 60'	113	177	185	14,2%	13,3%	9,9%
61' - 75'	141	199	565	17,8%	15,0%	30,3%
76' - 90+'	190	439	756	23,9%	33,1%	40,6%
Total	794	1328	1863	100,0%	100,0%	100,0%

Data pada Tabel 2 memvisualisasikan dengan sangat presisi keberadaan kurva eskalasi non-linear yang meruncing tajam pada interval terminal pertandingan (menit 76 hingga 90+'). Pada rentang 15 menit krusial ini, intensitas kebobolan melonjak hingga menyentuh angka absolut 190 gol, mewakili 23,9% dari total gol musiman. Lonjakan ini tidak berdiri sendiri, melainkan bergerak ekuivalen dengan ledakan insiden kedisiplinan yang membuahkan 439 kartu kuning, atau setara dengan 33,1% dari total populasi kartu kuning yang tercatat. Paradoksnya, tepat pada episentrum

keruntuhan ini pulalah konsentrasi intervensi taktis pelatih mencapai puncaknya, mengeksekusi 756 pergantian pemain (40,6% dari total pemanfaatan kuota substitusi).

Penumpukan frekuensi gol dan hukuman disipliner di penghujung laga ini adalah perwujudan empiris dari fenomena dekomposisi pertahanan berskala tim yang disebabkan oleh kelelahan sentral dan perifer. Dari perspektif fisiologi otot, ketika pertandingan memasuki seperempat jam terakhir, sistem penghasil energi anaerobik tubuh mengalami penipisan glikogen massal (*glycogen depletion*) yang tidak dapat lagi dihindari, khususnya di dalam serat otot kedut cepat tipe II yang selama ini dieksploitasi untuk memproduksi sprint tingkat tinggi, lompatan vertikal, dan perubahan arah yang reaktif (Alghannam, 2012). Kegagalan pasokan energi seluler ini diiringi oleh akumulasi ion hidrogen dan asam laktat intraseluler yang menurunkan pH otot, mengganggu siklus kalsium, dan melumpuhkan kapasitas kontraksi neuromuskular (Alghannam, 2012). Konsekuensi logis di lapangan adalah pemain bertahan kehilangan daya ledaknya; mereka memerlukan waktu jeda pemulihan yang jauh lebih lama antar sprint (Lancashire Online Knowledge, n.d.), sehingga gagal melakukan transisi defensif (*defensive tracking back*) secara cepat, meninggalkan celah eksploitasi antar lini yang pada akhirnya dihukum menjadi gol.

Di lingkungan liga profesional Indonesia, proses kelelahan mekanik ini terakselerasi berlipat ganda oleh faktor stres iklim tropis (Hosokawa et al., 2018). Parameter WBGT di kawasan ekuatorial sering kali menunjukkan tingkat kelembapan yang melumpuhkan kapasitas tubuh untuk melakukan penguapan keringat (Korey Stringer Institute, 2026). Untuk mencegah hipertermia yang mematikan, sistem otonom memfasilitasi vasodilatasi masif dengan menggeser aliran darah dari jaringan otot menuju kulit guna membuang panas (Cadence, 2026; Pratama, Anwar, et al., 2025). Reduksi aliran oksigen ke otot ini memicu pergeseran paksa menuju sistem glikolisis anaerobik ekstrem, yang membakar sisa karbohidrat basal pada laju yang jauh lebih agresif (Cadence, 2026). Pada menit ke-75, sistem muskuloskeletal para pemain sebelas awal (*starters*) praktis berada dalam kondisi kelaparan bioenergi tingkat akut.

Lebih dari sekadar kelumpuhan serabut otot, interval 76-90+' adalah titik puncak pecahnya resiliensi kognitif. Dalam literatur keolahragaan, kelelahan mental (*mental fatigue*) diakui sebagai agen perusak utama terhadap kapasitas pengambilan keputusan (Chmiel & Kurpas, 2026). Setelah 75 menit dipaksa melakukan pemrosesan informasi visual berkecepatan tinggi secara paralel (menganalisis pergerakan bola, melacak posisi penyerang sayap lawan, dan mengingat instruksi taktis *dual-tasking*), korteks prefrontal mengalami saturasi (Football Fitness Lab, 2025). Pemain memasuki fase *tunnel vision*, di mana pandangan periferal mereka menyempit, waktu reaksi terhadap stimulus gerakan musuh melambat tajam, dan kemampuan antisipatif mereka lumpuh total.

Kelumpuhan kognitif ini memberikan eksplanasi saintifik yang presisi terhadap meledaknya persentase kartu kuning (33,1%) di akhir pertandingan. Bek dan gelandang bertahan yang kewaspadaannya telah hancur akan terus-menerus salah mengalkulasi jarak dan waktu (*mistimed tackles*) saat menghadapi penetrasi lawan (Ryan Byrne, 2016). Keterlambatan motorik ini memaksa mereka untuk menghentikan serangan lawan secara paksa melalui tarikan jersey refleksif, tekel putus asa dari arah belakang, atau jegalan kasar, yang secara otomatis memaksa wasit untuk mencabut hukuman kartu (Morales et al., 2019). Dengan demikian, lonjakan statistik disiplin ini murni merupakan kompensasi mekanis atas otak yang sudah tidak lagi mampu menyinkronkan respons taktis dengan kecepatan gerakan fisik.

Profil Keputusan Taktis Pelatih: Mismatch Temporal dan Anomali Kausalitas Terbalik

Kehadiran regulasi pergantian hingga lima pemain—sebuah terobosan yang diinisiasi IFAB demi melindungi kesejahteraan fisiologis pemain di era kalender kompetitif yang padat (Under Armour, n.d.)—secara rasional diharapkan dapat bertindak sebagai perisai proaktif terhadap ancaman

penipisan glikogen tersebut. Namun, interpretasi silang antara tingginya persentase rasio pergantian pemain (40,6%) dengan rasio kebobolan puncak (23,9%) pada kuartal terakhir laga menyingkap sebuah wawasan analitik emas: eksistensi ketidaksesuaian temporal (*temporal mismatch*) dalam kerangka pengambilan keputusan strategis staf kepelatihan.

Tabel 3. Profil komparatif pengambilan keputusan taktis pelatih

Parameter evaluasi taktis	Tim kandang	Tim tandang	Selisih / nilai signifikansi
Rerata menit pergantian	52,83'	50,74'	Tim tandang lebih cepat 2,09 menit
Rerata gol akhir (Sub $\leq$)	0,3200 gol	-	Tren: Pergantian dini meningkatkan
Rerata gol akhir (Sub $>$)	0,2888 gol	-	Produktivitas gol akhir (+10,8%)

Konsentrasi mayoritas pergantian pemain yang dipadatkan pada periode menit 76-90+ mengindikasikan dominasi sistem manajemen pertandingan reaktif. Alih-alih melakukan rotasi preventif pada personel yang mengemban beban kerja kardiovaskular tertinggi—seperti bek sayap dan gelandang *box-to-box*—pada ambang batas menit 60 hingga 70 sebelum asidosis otot terjadi (PlayerData, 2025), pelatih justru menahan instrumen pergantiannya. Banyak substitusi yang akhirnya dieksekusi secara sporadis setelah struktur fondasi lini belakang benar-benar ambruk, atau sebagai mekanisme kepanikan absolut saat tim sudah menderita kebobolan gol (PlayerData, 2025).

Dalam studi kinetik performa pemain, memasukkan darah segar di atas menit ke-80 tidak menjamin netralisasi serangan lawan yang efektif (Bradley et al., 2014). Walaupun secara objektif pemain pengganti (*substitutes*) terbukti memiliki daya jelajah intensitas tinggi (*High-Speed Running Distance*) dan kecepatan sprint yang relatif lebih tinggi dibandingkan dengan pemain mula (*starters*) yang telah terkuras tenaganya, mereka memiliki masa transisi fungsional (Padrón-Cabo et al., 2018). Terdapat fase penyesuaian (*warm-up decrement*), di mana otot pemain pengganti masih membutuhkan waktu untuk mencapai temperatur ideal dan otak mereka memerlukan adaptasi instan terhadap kecepatan tempo (*pace*) permainan yang sudah sangat tinggi (Sydney et al., 2022). Lebih mematikan lagi, injeksi satu atau dua energi segar tidak dapat secara magis memulihkan integritas kolektif dari blok pertahanan apabila tujuh pemain *outfield* lainnya telah lumpuh akibat stres glikolitik. Ini secara meyakinkan menjelaskan mengapa laju kebobolan gagal direduksi meski lalu lintas pemain di sisi lapangan sangat sibuk.

Selain itu, analisis mendalam pada Tabel 3 membawa kita pada komparasi waktu pergantian pertama. Tim tandang, secara statistik, mengeksekusi intervensi taktis 2,09 menit lebih cepat (menit ke-50,74) dibandingkan tim kandang (menit ke-52,83). Deviasi waktu ini bukanlah sebuah kebetulan teknis, melainkan perpanjangan langsung dari sindrom tekanan laga tandang. Tertinggal dalam perolehan skor, didikte oleh penguasaan bola superior dari lawan yang didukung energi penonton, serta kerentanan skema taktis akibat intimidasi psikologis memaksa arsitek tim tamu untuk mengorbankan stabilitas formasi awal lebih cepat, mencoba menyuntikkan katalisator perubahan (*tactical reshuffle*) pada awal babak kedua (Jordan Bishop, 2016).

Di sinilah fenomena analitik paling kontradiktif muncul: tim yang mengeksekusi pergantian dini (substitusi sebelum atau tepat pada menit ke-60) secara tren memperlihatkan rasio penciptaan

gol di penghujung laga yang superior (0,3200 gol) dibandingkan dengan entitas tim yang memilih menahan pergantiannya (0,2888 gol), menghasilkan deviasi positif produktivitas serangan sebesar 10,8%. Namun, jika data dibedah lebih dalam, kelompok tim yang melakukan pergantian dini tersebut secara ironis juga cenderung menderita jumlah gol kebobolan yang sedikit lebih banyak pada fase akhir. Hal ini dapat secara keliru ditafsirkan bahwa melakukan pergantian awal dapat merusak soliditas organisasi bertahan dan menyebabkan tim gampang ditembus.

Paradoks penafsiran ini wajib diluruskan dengan mengaplikasikan teori Kausalitas Terbalik (*Reverse Causality*) yang bertumpu pada status pertandingan (*Game State*) di ranah ilmu olahraga makro (Kaishu Mason, 2024). Realitas operasional di pinggir lapangan menyatakan bahwa pergantian pemain bukanlah instrumen acak yang dirotasi pada kondisi ekuilibrium. Secara logis, seorang pelatih tidak akan merusak tatanan taktis yang sedang stabil, unggul dalam persentase bola, dan mengamankan kepemimpinan skor dengan menarik keluar jangkar pertahanannya di menit ke-55 (PlayerData, 2025).

Keputusan prematur untuk menghabiskan kuota penting sebelum menit ke-60 selalu diinduksi oleh urgensi disfungsi tim. Intervensi dini direalisasikan secara terpaksa karena tim tersebut sudah berada dalam keadaan inferior (*trailing state*), taktik babak pertama gagal meredam invasi sayap lawan, atau gawang mereka telah bobol pada menit-menit krusial (Gabrys et al., 2025). Oleh karena itu, tingginya angka kebobolan akhir pada kubu pergantian dini bukan disebabkan oleh kerusakan skema akibat substitusi itu sendiri. Kebobolan tersebut murni merupakan produk dari struktur pertahanan yang memang sudah keropos, cacat, dan bermain di bawah kompromi (*defensively compromised*) sejak babak pertama. Substitusi dini adalah bentuk tindakan resusitasi (*damage control*) terhadap tim yang telah sakit secara taktis.

Sebaliknya, formasi tim yang stabil dan sedang berada dalam posisi unggul (*winning state*) cenderung akan mengulur waktu pergantian hingga menyentuh menit ke-75 atau bahkan ke-85 (PlayerData, 2025). Pelatih dari tim yang mendominasi akan menggunakan substitusi lambat bukan untuk mengubah sistem, tetapi sebagai instrumen psikologis (*game management*) untuk memecah ritme pertandingan lawan yang sedang mencari gol balasan, memberikan jeda waktu istirahat pasif di lapangan, dan memperlambat detak waktu (PlayerData, 2025). Melalui prisma kausalitas terbalik, terbukti bahwa kegagalan defensif akhir laga tidak diproduksi oleh intervensi pergantian dini, melainkan intervensi dini tersebut dilahirkan oleh kebutuhan mutlak untuk merespons keruntuhan defensif yang sedang terjadi.

SIMPULAN

Studi komprehensif terhadap dinamika makro-kejadian di liga sepak bola profesional ini merombak dan memperdalam pemahaman mengenai fragilitas fondasi bio-psikologis sebuah tim pada interval penutup pertandingan. Temuan secara empiris menggarisbawahi bahwa asimetri kekuatan yang tercipta dari keuntungan kandang (*home advantage*) bukan sekadar retorika psikologis abstrak, melainkan realitas tekanan sosiologis yang secara nyata memprovokasi kecemasan, menumpulkan tingkat kontrol motorik defensif, dan pada puncaknya, mengeksploitasi bias kognitif pengadil lapangan untuk menjatuhkan sanksi disipliner yang sangat tidak proporsional kepada tim tandang.

Sorotan utama penemuan ini bermuara pada eskalasi eksponensial laju kebobolan dan pelanggaran berat pada kurun waktu lima belas menit final, yang secara saintifik disingkap sebagai hasil akhir dari siklus destruktif penipisan cadangan glikogen otot secara masif, asidosis laktat, dan disorientasi fungsi kognitif. Cengkeraman iklim tropis beroperasi sebagai akselerator mematikan yang menyabotase mekanisme termoregulasi pemain, menempatkan rentang waktu menit 76-90+

sebagai fase keruntuhan (*late-game collapse*) bagi arsitektur pertahanan yang tidak dimanajemen dengan pendekatan antisipatif.

Episentrum kelemahan ini menyingkap anomali fatal dalam sistem pengambilan keputusan staf kepelatihan. Terkonsentrasinya gelombang pergantian pemain tepat pada fase keruntuhan krusial membuktikan adanya ketidaksesuaian temporal (*temporal mismatch*). Kuota maksimal lima pergantian pemain yang disediakan regulasi gagal dikapitalisasi sebagai tameng proaktif untuk menghentikan laju kelelahan sebelum ambang batas kritis laktat tertembus. Sebaliknya, substitusi di akhir laga nyatanya terdegradasi menjadi sekadar reaksi panik kompensatoris saat gawang telah kebobolan. Selanjutnya, aplikasi logika kausalitas terbalik berhasil menjernihkan ilusi bias statistik, menegaskan bahwa substitusi dini bukanlah agen perusak struktur, melainkan sebuah injeksi keputusan yang lahir secara langsung dari inferioritas status pertandingan (*game state*).

Implikasi saintifik dari kajian ini mendesak transformasi fundamental dalam metodologi operasional kepelatihan profesional. Manajemen intervensi pertandingan dituntut untuk beralih dari intuisi pasif-reaktif di pinggir lapangan menuju arsitektur substitusi yang didorong oleh mitigasi biokimia terencana. Melakukan injeksi tenaga pengganti secara preventif di titik persimpangan fisiologis—sekitar menit 60 hingga 70—akan menghentikan rantai penularan kelelahan mental, meminimalkan frekuensi tekel-tekel lambat yang berbuah kartu, dan menyelamatkan soliditas barisan pertahanan. Kepiawaian seorang pelatih tidak lagi sekadar diukur dari kelihaian meracik skema taktik dasar, melainkan dari presisi waktu intervensinya dalam melawan jam biologis di bawah bayang-bayang tekanan atmosferik yang ekstrem.

DAFTAR PUSTAKA

- Alghannam, A. F. (2012). Metabolic Limitations of Performance and Fatigue in Football. *Asian Journal of Sports Medicine*, 3(2), 65. <https://doi.org/10.5812/ASJSM.34699>
- Badiella, L., Puig, P., Lago-Peñas, C., & Casals, M. (2023). Influence of Red and Yellow cards on team performance in elite soccer. *Annals of Operations Research*, 325(1), 149–165. <https://doi.org/10.1007/S10479-022-04733-0/FIGURES/4>
- Bhagwande, B., Mohammed, A., & Dialsingh, I. (2024). Investigating the influence of fans on home advantage outcomes in association football across Europe. *Soccer & Society*, 25(8), 1093–1109. <https://doi.org/10.1080/14660970.2024.2333487>
- Bradley, P. S., Lago-Peñas, C., & Rey, E. (2014). Evaluation of the match performances of substitution players in elite soccer. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9(3), 415–424. <https://doi.org/10.1123/IJSP.2013-0304>
- Cadence. (2026, June 22). *The Silent Opponent - How nutrition science is utilised to beat the heat*. Cadence Club. <https://usecadence.com/blogs/science/the-silent-opponent-how-nutrition-science-is-utilised-to-beat-the-heat-during-the-2026-world-cup>
- Carrington, S. C., Adie, J. M., & Oxenham, P. (2025). No home team bias in elite football referees: Assessing correctness of refereeing decisions in the English Premier League. *The Journal of Sport and Exercise Science*, 9(2). <https://doi.org/10.36905/jses.2025.02.05>
- Chacón-Fernández, E., Brunsó-Costa, G., Duarte, A., Sánchez-Oro, J., & Alonso-Pérez-Chao, E. (2025). Home Advantage in Football: Exploring Its Effect on Individual Performance. *Applied Sciences* 2025, Vol. 15, Page 2242, 15(4), 2242. <https://doi.org/10.3390/APP15042242>
- Chmiel, J., & Kurpas, D. (2026). The Effectiveness of Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS) in Improving Performance in Soccer Players-A Scoping Review. *Journal of Clinical Medicine*, 15(3). <https://doi.org/10.3390/JCM15031281>

- Football Fitness Lab. (2025). Brain Endurance Training in Football - Football Fitness Lab. In *Football Fitness Lab*. <https://footfitlab.com/brain-endurance-training-in-football/>
- Gabrys, T., Chruscinski, R., Garnys, M., Suva, M., & Švátora, K. (2025). The influence of substitution decisions made by national team coaches on final match outcomes at UEFA EURO 2024. *Frontiers in Sports and Active Living*, 7, 1573823. <https://doi.org/10.3389/FSPOR.2025.1573823/TEXT>
- Gong, H. (2022). The Effect of the Crowd on Home Bias: Evidence from NBA Games During the COVID-19 Pandemic. *Journal of Sports Economics*, 23(7), 950–975. <https://doi.org/10.1177/15270025211073337>
- Goossens, D. R., Beliën, J., & Spieksma, F. C. R. (2012). Comparing league formats with respect to match importance in Belgian football. *Annals of Operations Research*, 194(1), 223–240. <https://doi.org/10.1007/S10479-010-0764-4>
- Goumas, C. (2014). Home advantage and referee bias in European football. *European Journal of Sport Science*, 14 Suppl 1(SUPPL.1). <https://doi.org/10.1080/17461391.2012.686062>
- Grundstein, A., Williams, C., Phan, M., & Cooper, E. (2015). Regional heat safety thresholds for athletics in the contiguous United States. *Applied Geography*, 56, 55–60. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2014.10.014>
- Hosokawa, Y., Grundstein, A. J., & Casa, D. J. (2018). Extreme Heat Considerations in International Football Venues: The Utility of Climatologic Data in Decision Making. *Journal of Athletic Training*, 53(9), 860. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-361-17>
- Jordan Bishop. (2016, January 16). *Soccer 101: Everything You Need to Know About Substitutions* | Orlando City. The Orlando Soccer Celebration. <https://www.orlandocitysc.com/news/soccer-101-everything-you-need-know-about-substitutions>
- Kaishu Mason. (2024). Optimal Substitution Time. *Wharton Sports Analytics and Business Initiative*. <https://wsb.wharton.upenn.edu/optimal-substitution-time/>
- Korey Stringer Institute. (2026). *Wet Bulb Globe Temperature Monitoring* | Korey Stringer Institute | College of Agriculture, Health and Natural Resources | University of Connecticut. COLLEGE OF AGRICULTURE, HEALTH AND NATURAL RESOURCES, Korey Stringer Institute. <https://koreystringer.institute.uconn.edu/wet-bulb-globe-temperature-monitoring/>
- Krumer, A., Shapir, O. M., & Zou, Y. (2024). The size of the crowd and home advantage in football: Evidence from Chinese Super League. *Asian Journal of Sport and Exercise Psychology*, 4(3), 82–87. <https://doi.org/10.1016/J.AJSEP.2024.10.009>
- Leitner, M. C., Daumann, F., Follert, F., & Richlan, F. (2023). The cauldron has cooled down: a systematic literature review on home advantage in football during the COVID-19 pandemic from a socio-economic and psychological perspective. *Management Review Quarterly*, 73(2), 605–633. <https://doi.org/10.1007/S11301-021-00254-5/FIGURES/3>
- Linke, D., Link, D., Weber, H., & Lames, M. (2018). Decline in Match Running Performance in Football is affected by an Increase in Game Interruptions. *Journal of Sports Science & Medicine*, 17(4), 662. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6243615/>
- Lorenzo-Martínez, M., Padrón-Cabo, A., Rey, E., & Memmert, D. (2021). Analysis of Physical and Technical Performance of Substitute Players in Professional Soccer. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 92(4), 599–606. <https://doi.org/10.1080/02701367.2020.1755414>
- Marqués-Jiménez, D., Calleja-González, J., Arratibel, I., Delextrat, A., & Terrados, N. (2017). Fatigue and Recovery in Soccer: Evidence and Challenges. *The Open Sports Sciences Journal*, 10(1), 52–70. <https://doi.org/10.2174/1875399X01710010052>

- Mike Hutton. (2026). *Soccer Substitution Rules: The Complete Guide* | Under Armour. UA Playbooks, Soccer, Soccer Substitution Rules. https://www.underarmour.com/en-us/t/playbooks/soccer/soccer-substitution-rules-the-complete-guide/?srsltid=AfmBOorzo86T6P_ijqWmFOY6NVX6fxZDEv0t-CCkm8S1cpFZ9BDyPAYw
- MLSsoccer staff. (2020, October 223). *Experts recommend trial for head injury substitutions in soccer matches* | MLSSoccer.com. Major League Soccer. <https://www.mlssoccer.com/news/experts-recommend-trial-head-injury-substitutions-soccer-matches>
- Morales, J., Roman, V., Yáñez, A., Solana-Tramunt, M., Álamo, J., & Figuls, A. (2019). Physiological and Psychological Changes at the End of the Soccer Season in Elite Female Athletes. *Journal of Human Kinetics*, 66(1), 99. <https://doi.org/10.2478/HUKIN-2018-0051>
- Njororai, W. S. S. (2014). Timing of Goals Scored in Selected European and South American Soccer Leagues, FIFA and UEFA Tournaments and the Critical Phases of a Match. *International Journal of Sports Science*, 4(6A), 56–64. <https://doi.org/10.5923/S.SPORTS.201401.08>
- Oliver Milman, Paul MacInnes, & Seán Clarke. (2026). Two World Cup matches were played in ‘severe heat’, analysis finds | World Cup 2026 | The Guardian. *The Guardian News*. <https://www.theguardian.com/football/2026/jun/19/world-cup-matches-severe-heat-level-analysis>
- Padrón-Cabo, A., Rey, E., Vidal, B., & García-Núñez, J. (2018). Work-rate Analysis of Substitute Players in Professional Soccer: Analysis of Seasonal Variations. *Journal of Human Kinetics*, 65(1), 165. <https://doi.org/10.2478/HUKIN-2018-0025>
- Peter Rejcek. (2026). *Absence of fans at European elite soccer ‘ghost games’ significantly decreases home advantage*. <https://www.frontiersin.org/news/2021/08/19/absence-of-fans-at-european-elite-soccer-ghost-games-significantly-decreases-home-advantage>
- Pollard, R. (1986). Home advantage in soccer: a retrospective analysis. *Journal of Sports Sciences*, 4(3), 237–248. <https://doi.org/10.1080/02640418608732122>
- Pratama, L., Anwar, S., & Meginsubu, H. (2025). Survei Tingkat Pengetahuan Gizi Olahraga Pada Mahasiswa Penjas Angkatan 2023 Unimuda Sorong. *Unimuda Sport Journal: Jurnal Pendidikan Jasmani*, 6(1), 18–24. <https://doi.org/10.36232/UNIMUDASPORTJURNAL.V6I1.2076>
- Pratama, L., Saleh, M., Yanto, A. H., Kurniawan, W. P., & Permadi, A. (2025). Experimental analysis of high-intensity interval training (HIIT) effects on $\dot{V}_{O2\max}$ and recovery efficiency in football players. *Jurnal SPORTIF: Jurnal Penelitian Pembelajaran*, 11(3), 529–546. https://doi.org/10.29407/JS_UNPGRI.V11I3.27392
- Ryan Byrne. (2016, June 21). The factors behind late goals in football matches. *Discount Football Kits*. <https://www.discountfootballkits.com/blog/the-factors-behind-late-goals-in-football-matches/>
- Silberzahn, R., Uhlmann, E. L., Martin, D. P., Anselmi, P., Aust, F., Awtrey, E., Bahník, Bai, F., Bannard, C., Bonnier, E., Carlsson, R., Cheung, F., Christensen, G., Clay, R., Craig, M. A., Rosa, A. D., Dam, L., Evans, M. H., Cervantes, I. F., ... Nosek, B. A. (2018). Many analysts, one data set: Making transparent how variations in analytic choices affect results. *Advances in Methods and Practices in Psychological Science*, 1(3), 337–356. https://doi.org/10.1177/2515245917747646/SUPPL_FILE/SILBERZAHNSUPPLEMENTAL MATERIAL.PDF
- Staiano, W., Díaz-García, J., García-Calvo, T., & Ring, C. (2025). Brain endurance training improves soccer-specific technical skills and cognitive performance in fatigued professional soccer

players. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 28(1), 69–76.
<https://doi.org/10.1016/J.JSAMS.2024.08.203>

Sun, R., Wang, C., Qin, Z., & Han, C. (2024). Temporal features of goals, substitutions, and fouls in football games in the five major European league from 2018 to 2021. *Heliyon*, 10(5), e27014.
<https://doi.org/10.1016/J.HELİYON.2024.E27014>

Sydney, M. G., Wollin, M., Chapman, D., Ball, N., & Mara, J. K. (2022). Substitute running outputs in elite youth male soccer players: less peak but greater relative running outputs. *Biology of Sport*, 40(1), 241. <https://doi.org/10.5114/BIOLSPORT.2023.112969>

PlayerData. (2025). *The Impact on Match Outcomes from Substitutions*. PlayerData, Inc.
<https://playerdata.com/en-gb/blog/substitutions>

Will Sparker. (2025, February 2). *Football Fatigue: Effects on Players and Strategies for Recovery*. Hudl. <https://www.hudl.com/blog/football-fatigue>