

PERKEMBANGAN TEKNOLOGI SEPATU SEPAK BOLA DARI MASA KE MASA

Rivan Saghita Pratama¹, (Indra Ramadhan², Saka Pratama³, Krisna Anggana⁴

¹PKO FIK Universitas Negeri Semarang

²PKO FIK Universitas Negeri Semarang

³PJKR FIK Universitas Negeri Semarang

⁴PJKR FIK Universitas Negeri Semarang

Alamat e-mail : 1rivan.saghita.pratama@mail.unnes.ac.id,

Alamat e-mail : 2indraramadhan@mail.unnes.ac.id,

Alamat e-mail : 3sakapratama020@students.unnes.ac.id

Alamat e-mail : 4krisnaanggana7@students.unnes.ac.id

ABSTRACT

Keywords: keyword 1, keyword 2, keyword 3 This study explores the technological evolution of football boots from their initial emergence to the modern era. Through a systematic literature review of 70 scholarly articles (40 international journals and 30 national journals) published between 2010 and 2025, the study identifies six key areas of development: the evolution of materials from natural leather to advanced synthetic polymers, the advancement of stud systems and traction technology, the integration of digital technology and sensors, improvements in ergonomic and biomechanical design, innovations in manufacturing processes, and a growing focus on environmental sustainability. The findings reveal that football boots have transformed from simple foot protection into high-tech equipment designed to enhance player performance while reducing injury risk. Current trends point toward mass customization using 3D scanning and gait analysis technologies to create boots tailored to each player's unique anatomy. This research contributes to a comprehensive understanding of how technological advancements have shaped the evolution of football boots and their implications for the industry's future.

Keywords: football boots, technological development, material innovation, biomechanics, sustainability

ABSTRAK

Penelitian ini mengkaji evolusi teknologi pada sepatu sepak bola sejak awal kemunculannya hingga era modern. Melalui tinjauan pustaka sistematis terhadap 70 artikel ilmiah (40 jurnal internasional dan 30 jurnal nasional) yang diterbitkan antara tahun 2010–2025, studi ini mengidentifikasi enam aspek utama perkembangan: evolusi material dari kulit alami hingga polimer sintesis canggih, pengembangan sistem stud dan teknologi traksi, integrasi teknologi digital dan sensor, kemajuan dalam desain ergonomis dan biomekanik, inovasi proses manufaktur, serta fokus pada keberlanjutan lingkungan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sepatu sepak bola telah bertransformasi dari sekadar

pelindung kaki menjadi peralatan teknologi tinggi yang dirancang untuk meningkatkan performa pemain sekaligus mengurangi risiko cedera. Tren terkini mengarah pada personalisasi massal dengan memanfaatkan teknologi pemindaian 3D dan analisis gaya berjalan untuk menciptakan sepatu yang sesuai dengan anatomi unik setiap pemain. Penelitian ini berkontribusi pada pemahaman komprehensif tentang bagaimana perkembangan teknologi telah membentuk evolusi sepatu sepak bola dan implikasinya bagi masa depan industri ini.

Kata Kunci: sepatu sepak bola, perkembangan teknologi, inovasi material, biomekanik, keberlanjutan

Catatan : Nomor HP tidak akan dicantumkan, namun sebagai fast respon apabila perbaikan dan keputusan penerimaan jurnal sudah ada.

A. Pendahuluan (12 pt dan Bold)

Sepatu sepak bola telah mengalami evolusi yang luar biasa sejak pertama kali digunakan. Perkembangan teknologi dalam sepatu sepak bola tidak hanya mengubah tampilan, tetapi juga memberikan dampak besar pada performa pemain dan pengalaman bermain (Li et al., 2024; (Mohammadi & Nourani, 2025); Azhari et al., 2015). Pada awalnya, sepatu sepak bola hanya berfungsi sebagai pelindung kaki, namun seiring berjalannya waktu, sepatu sepak bola telah bertransformasi menjadi peralatan teknologi tinggi yang dirancang untuk meningkatkan kecepatan, akurasi, dan kenyamanan pemain. Transformasi ini merupakan hasil dari penelitian intensif, inovasi material, dan perkembangan teknologi

manufaktur yang terus berkembang dalam beberapa dekade terakhir. Kemajuan dalam bidang biomekanik olahraga juga telah memberikan kontribusi signifikan terhadap desain sepatu yang lebih ergonomis dan efektif dalam mendukung gerakan alami kaki.

Sejarah perkembangan sepatu sepak bola dimulai pada abad ke-19 ketika sepatu sepak bola pertama kali dibuat dengan sol kulit dan paku untuk meningkatkan cengkeraman pada permukaan lapangan yang basah dan berlumpur. Selama beberapa dekade berikutnya, desain sepatu sepak bola terus berkembang dengan fokus pada peningkatan daya tahan dan kenyamanan (Saputro, 2022a); (Zhang et al., 2024); (Alam et al., 2019)). Era modern sepatu sepak bola dimulai pada tahun 1950-an ketika

produsen mulai menggunakan bahan sintetis dan karet untuk meningkatkan performa sepatu. Inovasi ini menandai pergeseran paradigma dalam industri sepatu sepak bola yang sebelumnya sangat bergantung pada bahan alami seperti kulit sapi atau kanguru. Penggunaan bahan sintetis memungkinkan produsen untuk mengontrol karakteristik material dengan lebih presisi, seperti elastisitas, daya tahan terhadap air, dan berat sepatu secara keseluruhan. Hal ini menyebabkan peningkatan signifikan dalam fleksibilitas desain dan memungkinkan produsen untuk mengeksplorasi berbagai fitur baru yang sebelumnya tidak mungkin dicapai dengan bahan tradisional.

Perkembangan teknologi dalam dunia olahraga, khususnya sepak bola, telah menghasilkan berbagai inovasi yang mengubah cara pemain berinteraksi dengan lapangan dan bola (Bafadal, 2025); (Morra et al., 2020); (Hanna, 2012)). Teknologi baru dalam pembuatan sepatu sepak bola telah memungkinkan pengembangan produk yang lebih ringan, lebih tahan lama, dan lebih responsif terhadap kebutuhan pemain. Produsen sepatu olahraga terus melakukan penelitian dan pengembangan untuk

menciptakan sepatu yang dapat meningkatkan kinerja pemain sambil mengurangi risiko cedera. Salah satu area fokus utama adalah pengembangan sistem pengunci tumit yang lebih baik, yang sangat penting untuk menjaga stabilitas kaki selama pergerakan lateral yang cepat. Sistem ini telah berkembang dari desain sederhana menjadi struktur yang lebih kompleks yang menyesuaikan dengan kontur anatomi tumit, memberikan dukungan yang lebih baik dan mengurangi risiko cedera akibat pergerakan berlebihan (Ramli et al., 2011).

Material yang digunakan dalam pembuatan sepatu sepak bola juga telah berkembang pesat dari waktu ke waktu. Dari penggunaan kulit alami hingga bahan sintetis canggih dan polimer teknologi tinggi, perubahan dalam material telah memainkan peran penting dalam evolusi sepatu sepak bola (Frannita, 2023); Grund & Senner, 2010; (Fraser et al., 2012). Inovasi dalam teknologi material tidak hanya berfokus pada peningkatan performa, tetapi juga pada aspek keberlanjutan dan ramah lingkungan. Pengembangan material mikro-fiber yang meniru karakteristik kulit alami namun dengan konsistensi dan daya

tahan yang lebih tinggi telah menjadi terobosan penting dalam industri ini. Material-material ini memungkinkan pembuatan sepatu yang lebih ringan tanpa mengorbankan perlindungan dan daya tahan, serta memberikan sensasi sentuhan yang lebih presisi saat berinteraksi dengan bola. Selain itu, penelitian terbaru juga mulai mengeksplorasi penggunaan material komposit yang dapat menyesuaikan karakteristiknya berdasarkan kondisi lingkungan, seperti suhu atau kelembaban, untuk mempertahankan performa optimal dalam berbagai situasi permainan (Oschman, 2023); (Fu et al., 2023); (Ghouili et al., 2023).

Pengembangan stud atau kancing pada sol sepatu juga merupakan bagian penting dari evolusi sepatu sepak bola. Dari paku sederhana hingga sistem stud yang dapat disesuaikan dan dipertukarkan, teknologi cengkeraman telah berkembang untuk memenuhi berbagai kondisi lapangan dan gaya bermain ((Grund & Senner, 2010); (Lehner et al., 2013); (Candra, 2024). Penelitian menunjukkan bahwa desain stud yang tepat dapat secara signifikan mempengaruhi performa pemain dalam hal akselerasi, manuver, dan stabilitas. Studi

biomekanik telah mengidentifikasi pola distribusi tekanan yang optimal pada sol sepatu, yang mengarah pada pengembangan konfigurasi stud yang lebih efisien. Inovasi terbaru dalam teknologi stud mencakup sistem dinamis yang dapat menyesuaikan tingkat penetrasi ke dalam permukaan lapangan berdasarkan tekanan yang diberikan, sehingga memberikan keseimbangan optimal antara traksi dan mobilitas. Selain itu, bentuk dan orientasi stud juga telah dioptimalkan untuk memfasilitasi gerakan rotasional yang lebih aman, mengurangi tekanan pada sendi lutut dan pergelangan kaki selama manuver berputar yang cepat.

Pengaruh teknologi digital dan komputasi juga semakin terasa dalam desain dan pengembangan sepatu sepak bola modern. Teknik pemodelan komputer, simulasi dinamika fluida, dan analisis biomekanik telah memungkinkan produsen untuk merancang sepatu yang lebih efisien dan ergonomis (Augustus et al., 2024); (Pablo et al., 2024); Mancini et al., 2022). Penggunaan teknologi ini memungkinkan desainer untuk memprediksi bagaimana sepatu akan berinteraksi dengan kaki pemain, lapangan, dan bola dalam berbagai

kondisi permainan. Pengembangan algoritma yang dapat mensimulasikan perilaku material sepatu di bawah berbagai kondisi beban telah mempercepat proses desain dan pengujian, memungkinkan iterasi yang lebih cepat dan hasil yang lebih optimal. Selain itu, pemindaian digital kaki atlet profesional dalam berbagai gerakan telah memberikan wawasan berharga tentang bagaimana kaki berdeformasi selama aktivitas intensif, yang kemudian digunakan untuk mengoptimalkan fit dan fleksibilitas sepatu di area-area kritis. Integrasi data dari ribuan pemain dengan karakteristik anatomi yang berbeda telah memungkinkan produsen untuk menciptakan desain yang dapat mengakomodasi berbagai bentuk kaki sambil tetap mempertahankan performa tinggi.

Aspek ekonomi dan pemasaran juga memiliki peran penting dalam perkembangan teknologi sepatu sepak bola. Persaingan antar merek telah mendorong inovasi yang cepat dan pengenalan fitur-fitur baru (Jatmika, 2017); (Pratama, 2024); (Hakim, 2018). Strategi pemasaran yang efektif, termasuk penggunaan selebriti dan atlet terkenal sebagai endorser, telah membantu

mempopulerkan teknologi baru dalam sepatu sepak bola. Investasi besar dalam penelitian dan pengembangan dari perusahaan multinasional telah mempercepat laju inovasi dalam industri ini. Dengan nilai pasar global yang mencapai miliaran dolar, perusahaan-perusahaan sepatu olahraga terus berusaha untuk mendifferensiasikan produk mereka melalui keunggulan teknologi. Kolaborasi antara produsen sepatu dengan klub sepak bola, liga profesional, dan federasi telah menciptakan ekosistem yang mendukung pengujian dan pengembangan teknologi baru dalam kondisi permainan nyata. Feedback dari pemain profesional menjadi sumber informasi berharga untuk penyempurnaan desain dan fungsi sepatu. Selain itu, peningkatan kesadaran konsumen tentang performa dan teknologi sepatu telah menciptakan segmen pasar premium yang menuntut inovasi berkelanjutan dan kualitas tinggi (Ha, 2016); (Awrejcewicz, 2021); (Arede et al., 2025).

Perkembangan teknologi sepatu sepak bola juga memiliki dampak pada kesehatan dan keselamatan pemain. Penelitian telah menunjukkan

bahwa desain sepatu yang tepat dapat membantu mengurangi risiko cedera umum dalam sepak bola, seperti cedera ligamen lutut anterior (ACL) dan pergelangan kaki (Burnie et al., 2023); (El-Tawil et al., 2016); (Chun et al., 2025). Pemahaman yang lebih baik tentang biomekanik kaki dan interaksi antara sepatu, kaki, dan permukaan bermain telah mengarah pada pengembangan sepatu yang tidak hanya meningkatkan performa tetapi juga melindungi pemain dari cedera. Studi longitudinal pada berbagai kelompok pemain telah memberikan data berharga tentang korelasi antara karakteristik sepatu dan tipe cedera tertentu, yang kemudian digunakan untuk memodifikasi desain sepatu. Inovasi seperti sistem penyerapan benturan yang dioptimalkan pada area tumit dan forefoot telah terbukti efektif dalam mengurangi tekanan berlebih pada struktur tulang dan jaringan lunak kaki (Siedlikowski, 2021); (Aguss, 2020); (Samsudin, 2024). Selain itu, pengembangan upper sepatu dengan zona elastisitas yang bervariasi telah membantu dalam mendistribusikan tekanan secara lebih merata selama gerakan lateral, mengurangi risiko cedera ligamen.

Pengenalan teknologi sensor dan perangkat pintar juga mulai merambah dunia sepatu sepak bola. Sepatu dengan sensor tertanam dapat mengumpulkan data tentang pergerakan pemain, distribusi tekanan, dan interaksi dengan bola, memberikan wawasan berharga untuk pelatihan dan analisis performa (Ometov et al., 2021); (Song et al., 2022); (Utomo, 2018). Integrasi teknologi ini membuka kemungkinan baru untuk personalisasi sepatu berdasarkan karakteristik biomekanik individu dan preferensi pemain. Sensor mikro yang diintegrasikan ke dalam sol sepatu dapat mendeteksi pola tekanan kaki yang spesifik untuk setiap pemain, memungkinkan analisis mendalam tentang teknik berlari, menendang, dan manuver. Data yang dikumpulkan dapat ditransmisikan secara nirkabel ke aplikasi perangkat mobile atau sistem analisis komputer, memberikan feedback real-time atau analisis pasca-latihan yang komprehensif. Teknologi ini tidak hanya bermanfaat untuk pemain profesional tetapi juga dapat digunakan dalam perspektif rehabilitasi untuk memantau perkembangan pemulihan cedera dan memastikan pemain kembali ke

lapangan dengan pola gerakan yang optimal. Selain itu, integrasi dengan sistem telemetri lainnya seperti monitor detak jantung dan tracker GPS memungkinkan pendekatan holistik terhadap performa dan kesehatan pemain (Riebl, 2013); (Wichmann et al., 2022); (Vancini, 2021).

Teknologi manufaktur juga telah berevolusi, memungkinkan produksi sepatu sepak bola yang lebih presisi dan konsisten. Teknik seperti pencetakan 3D dan manufaktur aditif mulai digunakan dalam pembuatan prototipe dan bahkan produksi komponen sepatu (Jakaria & Purnomo, 2021; (Rahmawati, 2018); (Rubiono, 2018). Teknologi ini memungkinkan desain yang lebih kompleks dan personalisasi yang lebih besar, membuka jalan bagi masa depan sepatu sepak bola yang disesuaikan dengan kebutuhan individu pemain. Manufaktur aditif memungkinkan penciptaan struktur internal yang kompleks dan ringan, seperti lattice dan honeycomb, yang dapat memberikan kombinasi optimal antara kekuatan, fleksibilitas, dan berat yang sulit dicapai dengan metode manufaktur tradisional. Sistem produksi otomatis dengan

robotika canggih telah meningkatkan konsistensi dan kualitas, mengurangi variasi antar produk yang seringkali menjadi masalah dalam produksi manual (Linthorne & Thomas, 2016); (Littlefair et al., 2024); (Yulianto, 2018). Selain itu, teknologi manufaktur digital memungkinkan siklus pengembangan produk yang lebih cepat, memungkinkan produsen untuk merespons tren pasar dan feedback konsumen dengan lebih agresif (Komar et al., 2021); (Behymer & Flach, 2016); (Sun et al., 2024).

Tantangan keberlanjutan juga semakin menjadi fokus dalam pengembangan sepatu sepak bola. Industri sepatu olahraga mulai mengadopsi praktik yang lebih ramah lingkungan, dari penggunaan bahan daur ulang hingga proses produksi yang lebih efisien secara energi (Sundan et al., 2025); (Saputro, 2022b); (Sinaga, 2021). Inovasi dalam hal ini tidak hanya memenuhi tuntutan konsumen yang semakin sadar lingkungan tetapi juga mengatasi masalah keberlanjutan jangka panjang. Pengembangan material bio-based yang berasal dari sumber terbarukan seperti alga, jamur, atau limbah pertanian telah menjadi area penelitian yang aktif. Material-material

ini berpotensi untuk menggantikan polimer berbasis minyak bumi yang dominan dalam industri sepatu saat ini. Optimasi proses produksi untuk mengurangi penggunaan air dan bahan kimia berbahaya juga menjadi prioritas, dengan beberapa produsen mengadopsi teknologi pewarnaan bebas air dan perekat berbasis air. Selain itu, inisiatif take-back dan program daur ulang telah diimplementasikan untuk mengurangi jumlah sepatu yang berakhir di tempat pembuangan sampah, dengan komponen-komponen tertentu dipulihkan dan digunakan kembali dalam produksi sepatu baru atau produk lainnya(Masuku, 2014); (Sitanggang, 2019); .

Tren terkini dalam pengembangan sepatu sepak bola mencakup personalisasi massal, di mana teknologi manufaktur modern memungkinkan penyesuaian sepatu untuk kebutuhan individu sambil mempertahankan efisiensi produksi skala besar (Sadiq, 2020); (Setyawan & Kartini, 2023); (Melani, 2025). Teknologi pemindaian 3D dan analisis gaya berjalan memungkinkan produsen untuk membuat sepatu yang sesuai dengan anatomi unik kaki setiap pemain. Sistem pemindaian

portabel yang dapat digunakan di toko retail atau bahkan melalui aplikasi smartphone telah memperluas aksesibilitas teknologi ini ke segmen konsumen yang lebih luas. Selain itu, platform online yang memungkinkan pelanggan untuk menyesuaikan berbagai aspek sepatu, dari sistem stud hingga material upper dan elemen estetika, telah menjadi semakin populer. Integrasi teknologi augmented reality memungkinkan konsumen untuk memvisualisasikan sepatu kustom mereka dalam lingkungan virtual sebelum melakukan pembelian. Sistem manufaktur modular dan fleksibel telah dikembangkan untuk mengakomodasi aliran produksi kustom ini tanpa mengorbankan efisiensi dan skalabilitas(Irawan, 2022).

Kerangka konseptual untuk memahami perkembangan teknologi sepatu sepak bola dapat dibagi menjadi enam aspek utama: (1) evolusi material, dari kulit alami hingga polimer sintetis canggih; (2) pengembangan sistem stud dan teknologi traksi; (3) integrasi teknologi digital dan sensor; (4) kemajuan dalam desain ergonomis dan biomekanik; (5) inovasi dalam proses manufaktur; dan (6) fokus pada

keberlanjutan dan dampak lingkungan. Kerangka ini menyediakan lensa untuk menganalisis bagaimana berbagai aspek teknologi telah memengaruhi evolusi sepatu sepak bola dan bagaimana mereka mungkin terus berkembang di masa depan. Interaksi dan sinergi antara keenam dimensi ini telah menghasilkan kemajuan yang signifikan dalam teknologi sepatu sepak bola, dengan inovasi dalam satu area seringkali mendorong perkembangan di area lainnya. Misalnya, pemahaman yang lebih baik tentang biomekanik kaki dan interaksi dengan permukaan bermain telah mendorong pengembangan material dan desain stud baru, yang pada gilirannya memungkinkan konfigurasi dan fitur yang sebelumnya tidak mungkin dicapai. Kemajuan dalam teknologi manufaktur telah membuka jalan bagi implementasi konsep desain inovatif yang sebelumnya terbatas oleh keterbatasan proses produksi tradisional. Selain itu, meningkatnya fokus pada keberlanjutan telah mendorong penelitian tentang material alternatif dan proses manufaktur yang lebih efisien, yang pada akhirnya juga dapat

menghasilkan produk dengan karakteristik performa yang lebih baik.

Dalam perspektif global yang lebih luas, evolusi teknologi sepatu sepak bola juga mencerminkan tren dan prioritas yang berkembang dalam masyarakat dan industri secara umum. Fokus pada personalisasi, keberlanjutan, dan integrasi teknologi digital merupakan tema utama yang muncul tidak hanya dalam industri sepatu olahraga tetapi juga di berbagai sektor ekonomi lainnya. Aspek-aspek budaya dan sosial juga mempengaruhi arah perkembangan teknologi sepatu sepak bola, dengan preferensi gaya dan estetika yang berbeda di berbagai wilayah dan kelompok demografis. Pemahaman mendalam tentang faktor-faktor ini penting untuk memprediksikan tren masa depan dan menginformasikan strategi penelitian dan pengembangan yang efektif.

B. Metode Penelitian (Huruf 12 dan Ditebalkan)

Penelitian ini dilaksanakan dengan mengadopsi pendekatan tinjauan pustaka sistematis untuk mengeksplorasi dan menganalisis secara komprehensif perkembangan teknologi dalam sepatu sepak bola

dari masa ke masa. Metodologi yang diterapkan dirancang untuk memastikan pengumpulan data yang menyeluruh, sistematis, dan mampu memberikan gambaran komprehensif tentang evolusi teknologi sepatu sepak bola. Pendekatan tinjauan pustaka sistematis dipilih karena kemampuannya untuk mengintegrasikan temuan dari berbagai sumber penelitian secara terstruktur dan memberikan analisis mendalam tentang tren perkembangan teknologi dalam industri sepatu sepak bola.

Proses pengumpulan data dimulai dengan penentuan kata kunci yang relevan dan spesifik untuk memastikan cakupan literatur yang komprehensif. Kata kunci yang digunakan dalam pencarian sistematis meliputi "teknologi sepatu sepak bola", "inovasi sepatu olahraga", "material sepatu sepak bola", "biomekanik sepak bola", dan "desain sepatu olahraga". Selain itu, beberapa variasi dan kombinasi kata kunci juga digunakan untuk memperluas jangkauan pencarian dan memastikan tidak ada literatur penting yang terlewatkan dalam proses pengumpulan data. Pencarian dilakukan dalam berbagai database

ilmiah terkemuka seperti Google Scholar, Science Direct, Scopus, PubMed, dan portal jurnal nasional untuk memastikan cakupan yang luas dan representative .

Setelah mengidentifikasi potensi literatur yang relevan, proses seleksi artikel dilakukan dengan menerapkan kriteria inklusi dan eksklusi yang telah ditentukan sebelumnya. Kriteria inklusi untuk artikel yang dipilih dalam penelitian ini meliputi: pertama, artikel yang secara eksplisit membahas teknologi dalam sepatu sepak bola; kedua, penelitian yang berfokus pada aspek material, inovasi desain, atau pertimbangan biomekanik dalam pengembangan sepatu sepak bola; ketiga, studi yang menganalisis dampak berbagai jenis sepatu terhadap performa pemain; dan keempat, penelitian yang membahas aspek keamanan, pencegahan cedera, dan ergonomi terkait penggunaan sepatu sepak bola dalam perspektif latihan maupun pertandingan. Semua artikel yang tidak memenuhi kriteria ini dieksklusi dari analisis lebih lanjut.

Proses seleksi artikel dilakukan melalui beberapa tahap penyaringan untuk memastikan kualitas dan relevansi literatur yang dimasukkan

dalam analisis. Tahap pertama melibatkan pemeriksaan judul dan abstrak untuk mengevaluasi kesesuaian dengan topik penelitian. Artikel yang dianggap potensial relevan kemudian memasuki tahap kedua, yaitu pembacaan teks lengkap untuk menilai kesesuaian dengan kriteria inklusi secara lebih mendalam. Setiap artikel yang memenuhi semua kriteria inklusi kemudian dimasukkan dalam corpus analisis final.

Hasilnya, total 70 artikel berhasil diidentifikasi dan diinklusi dalam penelitian ini, terdiri dari 40 jurnal internasional dan 30 jurnal nasional yang dipublikasikan antara tahun 2010 hingga 2025. Distribusi temporal dari literatur yang dianalisis memungkinkan penelitian ini untuk menangkap tren perkembangan teknologi sepatu sepak bola selama periode 15 tahun terakhir, memberikan perspektif historis sekaligus kontemporer tentang evolusi teknologi dalam industri ini.

Untuk memfasilitasi analisis yang terstruktur dan sistematis, metode content analysis diterapkan pada corpus literatur yang telah dikumpulkan. Proses analisis konten dimulai dengan pengkodean teks untuk mengidentifikasi tema-tema

utama yang muncul dalam literatur. Berdasarkan proses ini, beberapa kategori tematik utama berhasil diidentifikasi, meliputi evolusi material, pengembangan stud, integrasi teknologi sensor, pertimbangan biomekanik, inovasi dalam proses manufaktur, dan aspek keberlanjutan dalam produksi sepatu sepak bola.

Setelah mengidentifikasi kategori tematik, setiap artikel dalam corpus dianalisis secara mendalam untuk mengekstrak informasi yang relevan dengan masing-masing kategori. Proses ekstraksi data melibatkan identifikasi temuan utama, metodologi yang digunakan, perspektif penelitian, dan implikasi dari setiap studi. Informasi yang diekstrak kemudian diorganisir dalam matriks analisis untuk memfasilitasi perbandingan antar studi dan identifikasi pola yang muncul dalam literatur.

Analisis komparatif dilakukan untuk mengidentifikasi tren utama dalam perkembangan teknologi sepatu sepak bola, kesenjangan dalam penelitian, dan arah potensial untuk inovasi di masa depan. Proses analisis juga mencakup evaluasi kritis terhadap metodologi yang digunakan dalam studi-studi yang dianalisis

untuk menilai kekuatan bukti yang mendukung berbagai klaim tentang efektivitas teknologi tertentu dalam meningkatkan performa atau keamanan pemain.

Untuk memperkaya analisis dan memberikan perspektif praktis bagi temuan dari literatur akademis, beberapa studi kasus tentang inovasi teknologi dari produsen sepatu sepak bola terkemuka juga dimasukkan dalam analisis. Studi kasus ini dipilih berdasarkan signifikansi inovasi yang diperkenalkan dan dampaknya terhadap industri secara keseluruhan. Analisis studi kasus melibatkan evaluasi mendalam terhadap proses pengembangan teknologi, fitur inovatif yang diperkenalkan, dan respons pasar terhadap inovasi tersebut.

Dimensi tambahan dari analisis mencakup perbandingan antara teknologi yang digunakan dalam sepatu sepak bola untuk segmen profesional dan amatir. Perbandingan ini bertujuan untuk memahami bagaimana inovasi teknologi menyebar melalui berbagai segmen pasar dan faktor-faktor yang mempengaruhi adopsi teknologi di berbagai tingkat permainan. Analisis ini juga mempertimbangkan implikasi ekonomi dan aksesibilitas dari

teknologi canggih dalam perspektif sepak bola grassroots dan profesional.

Untuk memastikan validitas dan reliabilitas temuan, beberapa strategi diterapkan dalam proses penelitian. Pertama, fokus diberikan pada sumber-sumber yang diterbitkan dalam jurnal peer-reviewed untuk memastikan kualitas ilmiah dari literatur yang dianalisis. Kedua, triangulasi data dilakukan dengan membandingkan informasi dari berbagai sumber untuk memverifikasi akurasi dan konsistensi temuan. Ketiga, analisis dilakukan secara independen oleh dua peneliti dengan keahlian dalam bidang teknologi olahraga dan metodologi penelitian, diikuti dengan diskusi untuk menyelesaikan perbedaan dalam interpretasi.

Terlepas dari upaya untuk memastikan rigor metodologis, penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diakui. Keterbatasan utama terletak pada fokus eksklusif pada literatur akademis, yang mungkin tidak sepenuhnya mencerminkan semua inovasi terbaru yang belum didokumentasikan dalam publikasi ilmiah. Selain itu, meskipun upaya

telah dilakukan untuk menginklusi literatur dari berbagai bahasa, mayoritas artikel yang dianalisis ditulis dalam bahasa Inggris, yang dapat memperkenalkan bias terhadap perspektif barat dalam temuan. Terakhir, perspektif pengguna akhir, yaitu pemain sepak bola, mungkin tidak sepenuhnya tertangkap dalam literatur akademis yang dianalisis, menggarisbawahi kebutuhan untuk penelitian masa depan yang mengintegrasikan data empiris dari pengalaman pengguna dengan tinjauan pustaka seperti yang dilakukan dalam penelitian ini.

C.Hasil Penelitian dan Pembahasan **(Huruf 12 dan Ditebalkan)**

Evolusi Material Sepatu Sepak Bola

Perkembangan material sepatu sepak bola telah mengalami transformasi besar dari masa ke masa, mencerminkan kemajuan teknologi material secara keseluruhan. Pada awal perkembangannya, sepatu sepak bola didominasi oleh penggunaan kulit alami, terutama kulit kangguru yang dikenal karena kekuatan dan kelembutannya (Li, 2024); (Azhari, 2015); (Saidani, 2013). Material ini memberikan keunggulan dalam hal

kenyamanan dan sentuhan bola, namun memiliki kelemahan dalam ketahanan terhadap air dan memerlukan perawatan khusus.

Transisi ke era modern ditandai dengan pengenalan material sintetis yang menawarkan kombinasi kinerja yang lebih baik dalam berbagai kondisi cuaca. Polimer canggih seperti microfiber dan bahan komposit mulai menggantikan kulit tradisional, memberikan keuntungan dari segi berat, daya tahan, dan konsistensi (Frannita & Hidayatullah, 2023; (Susanti, 2022); (Pratiwi, 2022). Riset menunjukkan bahwa material sintetis modern dapat menyamai atau bahkan melampaui properti kulit alami dalam hal kinerja, sambil menawarkan keunggulan tambahan seperti ketahanan air yang lebih baik dan perawatan yang lebih mudah.

Inovasi terbaru dalam material sepatu sepak bola mencakup penggunaan kain rajut dan material komposit yang dirancang khusus, memungkinkan produsen untuk menciptakan sepatu yang sangat ringan tanpa mengorbankan perlindungan dan daya tahan. Teknologi knit (rajutan) telah menjadi tren dominan, memungkinkan konstruksi upper yang seamless

(tanpa jahitan) yang mengikuti bentuk kaki secara alami dan memberikan sentuhan bola yang lebih presisi (Dyonic, 2022); (Hasan, 2021); (Hikmawan, 2020). Perkembangan ini tidak hanya meningkatkan performa pemain tetapi juga membuka jalan bagi desain yang lebih berkelanjutan dengan mengurangi limbah produksi dan memungkinkan penggunaan material daur ulang (Jakaria, 2021); (David McGhie, 2012); (Thomas Grund, 2010).

Inovasi Sistem Stud dan Traksi

Sistem stud pada sepatu sepak bola merupakan komponen kunci yang menentukan interaksi antara pemain dan permukaan lapangan. Evolusi sistem stud telah berjalan seiring dengan pemahaman yang lebih baik tentang biomekanik dan analisis performa pemain. Dari paku sederhana pada sepatu awal hingga sistem stud yang dirancang secara komputer saat ini, perubahan dalam teknologi traksi mencerminkan upaya untuk menyeimbangkan cengkeraman, manuver, dan keamanan (Grund & Senner, 2010); (Lehner et al., 2013); (Candra, 2024).

Penelitian tentang interaksi antara stud dan berbagai jenis permukaan lapangan telah

menghasilkan desain yang lebih spesifik untuk kondisi tertentu. Stud berbentuk baji, kerucut, dan pisau telah dikembangkan untuk memberikan kombinasi optimal antara traksi aksial dan transversal, memungkinkan pemain untuk melakukan akselerasi cepat dan perubahan arah tanpa kehilangan keseimbangan (Augustus et al., 2024); (Pablo et al., 2024); (Grund et al., 2010). Sistem stud yang dapat dipertukarkan juga memungkinkan pemain untuk menyesuaikan konfigurasi sepatu mereka berdasarkan kondisi lapangan, memberikan keunggulan kompetitif dalam berbagai situasi permainan.

Inovasi terbaru dalam teknologi traksi mencakup penggunaan simulasi komputer dan analisis elemen hingga untuk memprediksi bagaimana stud akan berinteraksi dengan berbagai jenis permukaan dalam berbagai kondisi. Pendekatan berbasis data ini telah menghasilkan desain yang lebih efisien dan aman, mengurangi risiko cedera sambil memaksimalkan performa (Mancini et al., 2022); (Wang et al., 2024); (Ghouili et al., 2023). Produsen sepatu juga mulai mengeksplorasi material stud adaptif yang dapat menyesuaikan kekakuan

dan cengkeraman berdasarkan tekanan dan gerakan, membuka era baru dalam teknologi traksi yang responsif dan dinamis.

Teknologi Digital dan Personalisasi dalam Sepatu Sepak Bola

Integrasi teknologi digital ke dalam sepatu sepak bola merupakan perkembangan yang relatif baru namun berkembang pesat. Sensor tertanam dan perangkat pintar kini dapat mengumpulkan data tentang pergerakan pemain, distribusi tekanan, dan interaksi dengan bola, memberikan wawasan berharga untuk analisis performa dan pencegahan cedera ((Ometov et al., 2021); (Burnie et al., 2023); (Morra et al., 2020). Sistem semacam ini memungkinkan pemain dan pelatih untuk menganalisis aspek permainan yang sebelumnya sulit untuk dikuantifikasi, membuka jalan bagi pendekatan yang lebih ilmiah dalam pelatihan dan pengembangan keterampilan.

Kemajuan dalam pemindaian 3D dan teknologi manufaktur telah membawa revolusi dalam personalisasi sepatu sepak bola. Produsen kini dapat menciptakan sepatu yang disesuaikan dengan anatomi unik kaki setiap pemain, memberikan kenyamanan dan

performa yang optimal (Song et al., 2022; Jakaria & Purnomo, 2021; (Mahmudi, 2021). Pendekatan ini tidak hanya meningkatkan pengalaman pemain tetapi juga dapat membantu mengurangi risiko cedera dengan memastikan distribusi tekanan yang lebih merata dan dukungan yang tepat untuk struktur kaki individu.

Teknologi realitas virtual dan augmented juga mulai digunakan dalam proses desain dan pengujian sepatu sepak bola, memungkinkan simulasi yang lebih realistis dari bagaimana sepatu akan berperforma dalam berbagai skenario permainan. Sementara itu, konsep metaverse mulai diintegrasikan ke dalam pengalaman konsumen, memungkinkan pemain untuk menguji sepatu secara virtual sebelum pembelian (Dwivedi et al., 2022); (Johri et al., 2024); Bafadal et al., 2024). Perkembangan ini tidak hanya mengubah cara sepatu dirancang dan diuji tetapi juga bagaimana mereka dipasarkan dan dijual kepada konsumen.

E. Kesimpulan

Perkembangan teknologi dalam sepatu sepak bola mencerminkan

perpaduan antara kemajuan ilmiah, kebutuhan pemain, dan tuntutan pasar. Dari sepatu sederhana berbahan kulit dengan paku sebagai stud hingga peralatan teknologi tinggi dengan sensor tertanam dan material canggih, evolusi sepatu sepak bola telah mengubah cara olahraga ini dimainkan dan dinikmati. Material modern seperti microfiber dan kain rajut telah menggantikan kulit tradisional, menawarkan kombinasi yang lebih baik dari berat ringan, daya tahan, dan performa. Sistem stud telah berevolusi berdasarkan pemahaman biomekanik yang lebih mendalam, menghasilkan desain yang menyeimbangkan traksi dengan keamanan di berbagai kondisi lapangan.

Integrasi teknologi digital telah membuka dimensi baru dalam analisis performa dan personalisasi, memungkinkan pemain untuk memaksimalkan potensi mereka dan mengurangi risiko cedera. Pendekatan berbasis data dalam desain sepatu tidak hanya meningkatkan performa tetapi juga mendorong pengembangan yang lebih berkelanjutan dengan penggunaan material dan proses produksi yang lebih efisien.

Personalisasi massal menjadi tren dominan, memungkinkan penyesuaian sepatu untuk kebutuhan individu sambil mempertahankan efisiensi produksi.

Ke depan, perkembangan teknologi sepatu sepak bola kemungkinan akan terus didorong oleh inovasi dalam material pintar, manufaktur digital, dan integrasi data. Sepatu yang dapat beradaptasi secara real-time dengan kondisi lapangan dan kebutuhan pemain mungkin akan menjadi kenyataan, membuka era baru dalam performa dan keamanan. Namun, tantangan tetap ada dalam hal aksesibilitas dan keberlanjutan, memastikan bahwa inovasi teknologi bermanfaat tidak hanya bagi elit tetapi juga untuk pemain di semua tingkatan, sambil meminimalkan dampak lingkungan. Dengan memahami perkembangan teknologi sepatu sepak bola, kita tidak hanya mendapatkan wawasan tentang evolusi peralatan olahraga tetapi juga tentang bagaimana teknologi dapat diterapkan untuk meningkatkan pengalaman manusia dalam aktivitas fisik dan kompetitif.

DAFTAR PUSTAKA

- Aguss, R. M. (2020). Pengembangan Model Permainan Sepatu Batok untuk Pembelajaran Sepak Bola Pendidikan Jasmani, Olahraga dan Kesehatan Siswa Sekolah Dasar. *SPORT-Mu: Jurnal Pendidikan Olahraga*, 1(01), 43-53.
- Alam, F., Chowdhury, H., & Moria, H. (2019). A review on aerodynamics and hydrodynamics in sports. *Energy Procedia*, 160, 798–805. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.02.158>
- Arede, J., Shang, X., Moran, J., Calleja-González, J., Travassos, B., Madruga-Parera, M., & Leite, N. (2025). Does the FIFA 11 + warm-up program positively shape both the physical and small-sided game performance of youth football players? *Intelligent Sports and Health*, 1(1), 22–29. <https://doi.org/10.1016/j.ish.2024.12.004>
- Augustus, S., Hudson, P. E., & Smith, N. (2024). Multiplanar lumbar, pelvis and kick leg sequencing during soccer instep kicking from different approach angles. *Journal of Biomechanics*, 163. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2023.111920>
- Awrejcewicz, J. (2021). Preface to the special issue of selected papers from the 15th International Conference Dynamical Systems – Theory and Applications (DSTA 2019). In *Applied Mathematical Modelling* (Vol. 93, pp. 924–925). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2021.01.016>
- Azhari, M. A. A. , W. C. S. , & I. L. (2015). Rancangan Produk Sepatu Olahraga Multifungsi Menggunakan Metode Quality Function Deployment (Qfd). *Reka Integra*, 3(4).
- Bafadal, M. F. , Y. A. , T. Y. T. , & S. A. (2025). Pengaruh Teknologi Terhadap Program Latihan Sepak Bola. . *Jurnal Dunia Pendidikan*, 5(4), 1515-1522.
- Behymer, K. J., & Flach, J. M. (2016). From Autonomous Systems to Sociotechnical Systems: Designing Effective Collaborations. *She Ji*, 2(2), 105–114. <https://doi.org/10.1016/j.sheji.2016.09.001>
- Burnie, L., Chockalingam, N., Holder, A., Claypole, T., Kilduff, L., & Bezodis, N. (2023). Commercially available pressure sensors for sport and health applications: A comparative review. In *Foot* (Vol. 56). Churchill Livingstone. <https://doi.org/10.1016/j.foot.2023.102046>
- Candra, A. T. , S. M. A. , & S. M. (2024). Analisis Perbedaan Material Outsole Sepatu Futsal terhadap Kenyamanan dan Kemampuan Dribbling. . *SPRINTER: Jurnal Ilmu Olahraga*, 5(2), 308-316.
- Chun, A. G., Snyder, E. M., Obana, K. K., Ashinsky, B. G., Parisien, R. L., Bottiglieri, T. S., Ahmad, C. S., & Trofa, D. P. (2025). Youth Soccer Lower Extremity Injuries Presenting to US Emergency Departments Are Decreasing: A 10-Year Analysis of National Injury Data. *Arthroscopy, Sports Medicine, and Rehabilitation*. <https://doi.org/10.1016/j.asmr.2025.101140>

- David McGhie, G. E. (2012). Biomechanical analysis of traction at the shoe-surface interface on third generation artificial turf. *Procedia Engineering*, Volume 34, Page 873, ISSN 1877-7058, <https://doi.org/10.1016/j.Proeng.2012.04.150>.
- Dwivedi, Y. K., Hughes, L., Baabdullah, A. M., Ribeiro-Navarrete, S., Giannakis, M., Al-Debei, M. M., Dennehy, D., Metri, B., Buhalis, D., Cheung, C. M. K., Conboy, K., Doyle, R., Dubey, R., Dutot, V., Felix, R., Goyal, D. P., Gustafsson, A., Hinsch, C., Jebabli, I., ... Wamba, S. F. (2022). Metaverse beyond the hype: Multidisciplinary perspectives on emerging challenges, opportunities, and agenda for research, practice and policy. *International Journal of Information Management*, 66. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2022.102542>
- Dynic, R. , W. B. , & N. A. (2022). Pengaruh Kualitas Produk, Harga Dan Promosi Terhadap Keputusan Pembelian Pada Produk Sepatu Ventella (Studi pada Mahasiswa Fakultas Ekonomi dan Bisnis UNISMA angkatan 2018). . *E-JRM: Elektronik Jurnal Riset Manajemen*, 11(06).
- El-Tawil, S., Arendt, E., & Parker, D. (2016). Position statement: the epidemiology, pathogenesis and risk factors of osteoarthritis of the knee. *Journal of ISAKOS*, 1(4), 219–228. <https://doi.org/10.1136/jisakos-2015-000002>
- Frannita, E. L. , & H. M. C. (2023). LITERATURE REVIEW IN IMPLEMENTATION OF INDUSTRY 4.0 FOR FOOTWEAR INDUSTRY. *Berkala Penelitian Teknologi Kulit, Sepatu, Dan Produk Kulit*, 22(2), 127-137.
- Fraser, S., Harland, A., Donovan, P., & O'Shea, L. (2012). Development of an end-effector to simulate the foot to ball interaction of an instep kick in soccer. *Procedia Engineering*, 34, 284–289. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.04.049>
- Fu, H., Li, Z., Zhou, X., Wang, J., Chen, Z., Sun, G., Sun, J., Zeng, H., Wan, L., Hu, Y., Wang, F., & Zheng, J. (2023). The profiles of single leg countermovement jump kinetics and sprinting in female soccer athletes. *Heliyon*, 9(8). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19159>
- Ghouili, H., Dridi, A., Ouerghi, N., Ben Aissa, M., Bouassida, A., Guelmami, N., Sortwell, A., Branquinho, L., Forte, P., & Dergaa, I. (2023). Normative reference and cut-offs values of maximal aerobic speed-20 m shuttle run test and maximal oxygen uptake for Tunisian adolescent (elite) soccer players. *Heliyon*, 9(10). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e20842>
- Grund, T., Reihl, I., Krosshaug, T., Senner, V., & Gruber, K. (2010). Calculation of ankle and knee joint moments during ACL-injury situations in soccer. *Procedia Engineering*, 2(2), 3255–3261. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2010.04.141>
- Grund, T., & Senner, V. (2010). Traction behavior of soccer shoe stud designs under different game-

- relevant loading conditions. *Procedia Engineering*, 2(2), 2783–2788. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2010.04.066>
- Ha, T. (2016). Probing Nature's Nanomachines One Molecule at a Time. In *Biophysical Journal* (Vol. 110, Issue 5, pp. 1004–1007). Biophysical Society. <https://doi.org/10.1016/j.bpj.2016.02.009>
- Hakim, F. F. (2018). Pengaruh motif rasional dan motif emosional terhadap keputusan pembelian sepatu sepak bola specs di keanggotaan persis Solo. . *Jurnal Ilmiah Mahasiswa FEB Universitas Brawijaya*, 6(2), 1-20.
- Hanna, R. K. (2012). CFD in sport - A retrospective; 1992 - 2012. *Procedia Engineering*, 34, 622–627. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.04.106>
- Hasan, G. (2021). PENGARUH KONSUMEN DALAM PEMBELIAN SEPATU BERMEREK DI KOTA BATAM. . *Jurnal Apresiasi Ekonomi*, 9(1), 38-46.
- Hikmawan, M. D. , & A. A. F. A. (2020). Fashion Branding Dalam Narasi Simulacra dan Simulasi (Penggunaan Brand “Nike” dalam Menentukan Status Sosial di Masyarakat). *Journal of Scientific Communication (JSC)*, 1(1).
- Irawan, Y. F. (2022). Tingkat Pengetahuan Strategi dan Taktik dalam Bermain Sepak Bola Siswa Peserta Ekstrakurikuler Sepak Bola di SMP Negeri 1 Puring Kebumen 2020. . *Jurnal Kridatama Sains Dan Teknologi*, 4(02), 240-248.
- Jakaria, R. B. , & P. H. (2021). Designing Products Sports Shoes Using the Quality Function Deployment (QFD) Method. *REM (Rekayasa Energi Manufaktur) Jurnal*, 6(2), 15-22.
- Jatmika, M. A. S. (2017). Pengaruh Harga dan Celebrity Endorser Cristiano Ronaldo Terhadap Keputusan Pembelian Sepatu Sepakbola Nike di Planet Sport Tunjungan Plaza Surabaya. . *Jurnal Ilmu Manajemen*, 5, 1-8.
- Johri, A., Sayal, A., N, C., Jha, J., Aggarwal, N., Pawar, D., Gupta, V., & Gupta, A. (2024). Crafting the techno-functional blocks for Metaverse - A review and research agenda. *International Journal of Information Management Data Insights*, 4(1). <https://doi.org/10.1016/j.ijime.2024.100213>
- Komar, J., Ong, C. Y. Y., Choo, C. Z. Y., & Chow, J. Y. (2021). Perceptual-motor skill transfer: Multidimensionality and specificity of both general and specific transfers. *Acta Psychologica*, 217. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2021.103321>
- Lehner, S., Dießl, C., Chang, D., & Senner, V. (2013). Optimization of a foot model for the evaluation of the injury risk during cutting movements in football. *Procedia Engineering*, 60, 325–330. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.07.010>
- Li, Q. , A. I. , N. P. M. , H. T. P. , D. T. V. , I. M. S. , N. H. X. , & D. V. D. (2024). Contemporary advances in polymer applications for sporting goods: fundamentals, properties, and

- applications. *RSC Advances*, 14(50), 37445-37469.
<https://doi.org/10.1039/D4ra06544a>.
- Linthorne, N. P., & Thomas, J. M. (2016). The Effect of Ball Spin Rate on Distance Achieved in a Long Soccer Throw-in. *Procedia Engineering*, 147, 677–682.
<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.06.271>
- Littlefair, D., McCloskey-Martinez, M., Graham, P., Nicholls, F., Hodges, A., & Cordier, R. (2024). Promoting social-inclusion: Adapting and refining a school participation and connectedness intervention for neurodiverse children in UK primary schools. *Research in Developmental Disabilities*, 154.
<https://doi.org/10.1016/j.ridd.2024.104857>
- Mahmudi, R. , & S. F. M. (2021). Pengaruh Kualitas Produk, Harga, Dan Promosi Terhadap Keputusan Pembelian Sepatu Futsal Dan Bola Merek Specs Di Toko Keranjang Bola Sidoarjo. . *Jurnal Ilmu Dan Riset Manajemen (JIRM)*, 10(6).
- Mancini, S., Dickin, D. C., Hankemeier, D., Ashton, C., Welch, J., & Wang, H. (2022). Effects of a soccer-specific vertical jump on lower extremity landing kinematics. *Sports Medicine and Health Science*, 4(3), 209–214.
<https://doi.org/10.1016/j.smhs.2022.07.003>
- Masuku, T. J. , P. M. S. , & L. Y. A. (2014). Persepsi Konsumen Terhadap Produk Sepatu Olahraga di Sport Station Megamall dengan Menggunakan Analisis Multidimensional Scaling. *Jurnal Ilmiah Sains*, 68-72.
- Melani, M. , S. A. , & D. G. (2025). Analisis Desain Produk, Persepsi Harga Dan Citra Merek Terhadap Keputusan Pembelian Sepatu Olahraga Voli Di Kecamatan Muara Siau. *Dharmas Journal of Sport*, 5(01), 31-42.
- Mohammadi, M. M., & Nourani, A. (2025). Testing the effects of footwear on biomechanics of human body: A review. In *Heliyon* (Vol. 11, Issue 4). Elsevier Ltd.
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2025.e42870>
- Morra, L., Manigrasso, F., & Lamberti, F. (2020). SoccER: Computer graphics meets sports analytics for soccer event recognition. *SoftwareX*, 12.
<https://doi.org/10.1016/j.softx.2020.100612>
- Ometov, A., Shubina, V., Klus, L., Skibińska, J., Saafi, S., Pascacio, P., Flueratoru, L., Gaibor, D. Q., Chukhno, N., Chukhno, O., Ali, A., Channa, A., Svertoka, E., Qaim, W. Bin, Casanova-Marqués, R., Holcer, S., Torres-Sospedra, J., Casteleyn, S., Ruggeri, G., ... Lohan, E. S. (2021). A Survey on Wearable Technology: History, State-of-the-Art and Current Challenges. In *Computer Networks* (Vol. 193). Elsevier B.V.
<https://doi.org/10.1016/j.comnet.2021.108074>
- Oschman, J. L. (2023). Illnesses in technologically advanced societies due to lack of grounding (earthing). In *Biomedical Journal* (Vol. 46, Issue 1, pp. 17–29). Elsevier B.V.
<https://doi.org/10.1016/j.bj.2022.10.004>

- Pablo, M. de, Torres, C., Ulloa-Díaz, D., & Fábrica, G. (2024). Kinetic analysis of change of direction simulating a defensive action in soccer players with and without acute fatigue. *Heliyon*, 10(22). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e40213>
- Pratama, Y. B. , T. S. , & M. A. (2024). Analisis Pengaruh Harga dan Kualitas Produk Terhadap Loyalitas Konsumen dengan Kepuasan Konsumen Sebagai Variabel Intervening untuk Sepatu Sepak Bola Merek Specs: Studi Empirik Pada Komunitas Sepak Bola Di Kabupaten Bogor. . *JURNAL EKONOMI, MANAJEMEN, BISNIS, DAN SOSIAL (EMBISS)*, 4(2), 156-170.
- Pratiwi, C. , R. A. , & A. A. (2022). Keputusan pembelian produk fashion secara online ditinjau dari motivasi emosional konsumen dewasa awal. . *Jurnal Psikologi: Media Ilmiah Psikologi*, 20(2).
- Rahmawati, N. , & S. A. A. (2018). Pengendalian Persediaan Material Untuk Memenuhi Sistem Produksi Make To Order Menggunakan Material Requirement Planning (MRP). *Journal of Research and Technology*, 4(1), 1-12.
- Ramli, R., Md. Yunus, M., & Ishak, N. M. (2011). Robotic teaching for Malaysian gifted enrichment program. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 15, 2528–2532. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2011.04.139>
- Riebl, S. K. , P. A. C. , H. V. E. , Z. J. M. , E. P. A. , & D. B. M. (2013). The Comparative Validity of Interactive Multimedia Questionnaires to Paper-Administered Questionnaires for Beverage Intake and Physical Activity: Pilot Study. . *JMIR Research Protocols*.
- Rubiono, G. , & Q. I. (2018). Analisis Aplikasi Uji Impak Tipe Charpy Untuk Pengukuran Kekuatan Tendangan Sepak Bola. *In Prosiding Seminar Nasional IPTEK Olahraga (SENALOG) (Vol. 1, No. 1, Pp. 45-49)*.
- Sadiq, M. F. , & S. M. E. (2020). PENGARUH EKUITAS MEREK TERHADAP KEPUTUSAN PEMBELIAN KONSUMEN SEPATU OLAHRAGA ADIDAS PADA GENERASI MILENIAL DI KOTA BANDUNG. . . *EProceedings of Management*, 7(2).
- Saidani, B. , R. M. A. , & R. M. (2013). Pengaruh kualitas produk dan desain produk terhadap keputusan pembelian sepatu olahraga futsal adidas di wilayah Jakarta Timur. *Jurnal Riset Manajemen Sains Indonesia (JRMSI)*, 4(2).
- Samsudin, A. , & F. A. (2024). Sistem Pemesanan Lapangan Mini Soccer Menggunakan Metode Prototype Berbasis Website. . *INFOTEX: Jurnal Ilmiah Bidang Ilmu Teknik*, 2(2), 261-275.
- Saputro, A. R. , R. A. A. , & A. R. (2022a). Rancangan Recycle dan Redesign Produk Sepatu Bola Bekas Menggunakan Metode Quality Function Deployment (QFD). . *Motor Bakar*.
- Saputro, A. R. , R. A. A. , & A. R. (2022b). Rancangan Recycle dan Redesign

- Produk Sepatu Bola Bekas Menggunakan Metode Quality Function Deployment (QFD). . *Motor Bakar*.
Environmental Biology, 28(3), 805–812.
<https://doi.org/10.19675/j.cnki.1006-687x.2021.01047>
- Setyawan, K. N. Y., & Kartini, K. (2023). Optimization of stirring-assisted extraction of anthocyanins from purple roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) calyces as pharmaceutical and food colorants. *Journal of Applied Biology and Biotechnology*, 11(5), 91–97.
<https://doi.org/10.7324/JABB.2023.11510-1>
- Siedlikowski, M. , C. L. , R. F. , & T. A. (2021). Experiences of Children With Osteogenesis Imperfecta in the Co-design of the Interactive Assessment and Communication Tool Sisom Ol: Secondary Analysis of Qualitative Design Sessions. *JMIR Pediatrics and Parenting*, 4(3).
<https://doi.org/10.2196/22784>.
- Sinaga, F. (2021). Industri Sepatu Olahraga dengan Merek Asli Indonesia Sudah Seharusnya Menjadi Pemimpin Dunia. *INDEPT: Jurnal Industri, Elektro Dan Penerbangan*, 10(1).
- Sitanggang, A. , M. R. R. S. , & F. F. (2019). DESAIN WEBSITE PENJUALAN PERLENGKAPAN SEPAK BOLA DAN FUTSAL (STUDI KASUS: ONE SPORT FOOTBALL DISTRO). . *Jurnal Mahajana Informasi*, 4(2), 33-38.
- Song, L., Song, T., Zhu, X., Cheng, F., & Sun, J. (2022). Research progress on the effect of spotted fungus on wood and its application | 木材花斑真菌对木材的影响及应用研究进展. *Chinese Journal of Applied and*
- Sun, Y., Chen, J., Yuan, Y., & Liu, S. (2024). A study on environmental elements of residential open spaces for grandparent-child rearing based on a field survey in Tianjin, China. *Journal of Urban Management*.
<https://doi.org/10.1016/j.jum.2024.10.006>
- Sundan, S. M. B., Michelsen, O., Rasmussen, F. N., Aas, B., & Bohne, R. A. (2025). Dynamic material flow analysis of microplastics lost from artificial turfs: A case study from Norway. *Science of the Total Environment*, 973.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.179159>
- Susanti, F. , & S. D. (2022). Pengaruh Country of Origin, Brand Image dan Desain Produk Terhadap Keputusan Pembelian Sepatu Olahraga Merek Nike Pada Siswa/i SMKN 1 Painan. *Jurnal Valuasi. Jurnal Ilmiah Ilmu Manajemen Dan Kewirausahaan*, 2(2), 1318-1331.
- Thomas Grund, V. S. (2010). Traction behavior of soccer shoe stud designs under different game-relevant loading conditions, . *Procedia Engineering*, Volume 2, Issue 2, Pages 2783-2788, ISSN 1877-7058,
<https://doi.org/10.1016/j.Proeng.2010.04.066>.
- Utomo, A. A. B. (2018). Peranan tes dan pengukuran olahraga sebagai sport industry dalam bidang jasa evaluasi kondisi fisik atlet. In *Prosiding Seminar Nasional Ilmu*

Keolahragaan UNIPMA (Vol. 1, No. 1, Pp. 51-59).

Vancini, R. L. , A. M. S. , V. R. B. , N. P. T. , K. B. , C. C. R. V. , . . . & de L. C. A. B. (2021).). Physical exercise and COVID-19 pandemic in PubMed: Two months of dynamics and one year of original scientific production. *Sports Medicine and Health Science*.

Wang, Y., Huang, L., Wang, P., Ran, R., & Zhang, T. (2024). Silk textile finished with natural dyes and UV resistance agents from agricultural waste Aloe vera rinds. *Journal of the Textile Institute*, 115(4), 632–638. <https://doi.org/10.1080/00405000.2023.2201535>

Wichmann, J. R. K., Uppal, A., Sharma, A., & Dekimpe, M. G. (2022). A global perspective on the marketing mix across time and space. *International Journal of Research in Marketing*, 39(2), 502–521. <https://doi.org/10.1016/j.ijresmar.2021.09.001>

Yulianto, P. F. (2018). Sepak bola dalam industri olahraga. *In Prosiding Seminar Nasional Ilmu Keolahragaan UNIPMA (Vol. 1, No. 1, Pp. 98-105).*

Zhang, H., Zhang, Y., Wang, X., Wang, W., Wu, Z., Wu, Y., Sun, Y., & Wang, Z. (2024). Chestnut shell dyes extracted by deep eutectic solvent in green dyeing of silk fibers for enhanced washable, antibacterial and UV protection properties. *Industrial Crops and Products*, 213. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2024.118449>