

## IMPLEMENTASI TEKNOLOGI BIO-KINETIK DALAM RANCANGAN BANGUNAN OLAHRAGA MENUJU SURPLUS ENERGI DI CILANDAK, JAKARTA SELATAN

Raja Isa Asshidiq<sup>1)</sup>, Denny Husin<sup>2)\*</sup>

<sup>1)</sup>Program Studi S1 Arsitektur, Fakultas Arsitektur, Perencanaan, dan Real Estat,  
Universitas Tarumanagara, Jakarta  
Email: rajasasshidiq@gmail.com

<sup>2)\*</sup>Program Studi S1 Arsitektur, Fakultas Arsitektur, Perencanaan, dan Real Estat,  
Universitas Tarumanagara, Jakarta  
Email: denny@ft.untar.ac.id

\*Penulis Korespondensi: denny@ft.untar.ac.id

Masuk: 07-11-2025, revisi: 07-01-2026, diterima untuk diterbitkan: 28-04-2026

### Abstrak

Fenomena meningkatnya kebutuhan fasilitas olahraga di Jakarta Selatan menegaskan urgensi perancangan bangunan olahraga yang tidak hanya memenuhi fungsi dasar, tetapi juga mampu merespons isu keberlanjutan lingkungan secara holistik. Kondisi eksisting menunjukkan banyak fasilitas olahraga masih mengadopsi desain tertutup dengan ketergantungan tinggi pada sistem pendingin udara dan pencahayaan buatan, sehingga memicu konsumsi energi berlebihan dan tidak efisien. Menjawab tantangan tersebut, penelitian ini mengembangkan konsep sport center berbasis teknologi bio-kinetik sebagai pendekatan inovatif untuk mewujudkan bangunan berenergi net-surplus, yakni bangunan yang mampu menghasilkan energi lebih besar dibandingkan energi yang dikonsumsi selama operasional. Pendekatan penelitian bersifat kualitatif-desain melalui tahapan analisis tapak mikro klimatis, studi preseden fasilitas olahraga berkelanjutan, pemetaan aktivitas pengguna untuk menghitung potensi konversi energi dari gerak manusia, serta simulasi sistem energi terintegrasi yang menggabungkan berbagai sumber energi terbarukan. Landasan teoritis mencakup prinsip arsitektur regeneratif, konsep bangunan net-surplus, dan teknologi energy harvesting berbasis bio-kinetik yang memanfaatkan aktivitas biomekanis sebagai sumber energi alternatif. Hasil penelitian menunjukkan integrasi sistem bio-kinetik, panel surya berkapasitas optimal, serta strategi ventilasi dan pencahayaan alami mampu menurunkan konsumsi energi konvensional hingga 35 persen. Kelebihan energi dialokasikan untuk penerangan ruang publik, stasiun pengisian kendaraan listrik, dan utilitas sekunder lainnya. Rancangan sport center kontekstual iklim tropis Jakarta dan mendukung efisiensi energi berkelanjutan.

**Kata kunci: Arsitektur; Energi; Regeneratif**

### Abstract

*The increasing demand for sports facilities in South Jakarta highlights the urgency of designing sports buildings that not only fulfill basic functional requirements but also respond holistically to environmental sustainability issues. Existing conditions indicate that many sports facilities still adopt enclosed designs with a high dependence on air-conditioning systems and artificial lighting, leading to excessive and inefficient energy consumption. Addressing this challenge, this study develops a sports center concept based on bio-kinetic technology as an innovative approach to achieving a net-surplus energy building, namely a building capable of generating more energy than it consumes during operation. The research employs a qualitative design-based approach through stages of microclimatic site analysis, precedent studies of sustainable sports facilities, mapping of user activities to calculate the potential for energy conversion from human movement, and simulations of integrated energy systems combining various renewable energy sources. The theoretical foundation encompasses principles of regenerative architecture, the concept of net-surplus*

*buildings, and bio-kinetic energy harvesting technologies that utilize biomechanical activity as an alternative energy source. The results indicate that integrating bio-kinetic systems, optimally sized solar panels, and strategies for natural ventilation and daylighting can reduce conventional energy consumption by up to 35 percent. Excess energy generated can be allocated for public space lighting, electric vehicle charging stations, and other secondary utility needs. The proposed sports center design is contextual to Jakarta's tropical climate and supports long-term urban energy efficiency and sustainability.*

**Keywords:** *Architecture; Energy; Regenerative*

## 1. PENDAHULUAN

### Latar Belakang

Adanya kebutuhan fasilitas olahraga yang semakin tinggi di kawasan perkotaan, khususnya Jakarta Selatan, membuka peluang untuk merancang bangunan yang tidak hanya memenuhi fungsi olahraga, tetapi juga mampu memberikan kontribusi energi positif bagi lingkungan perkotaan. Peningkatan kesadaran masyarakat terhadap gaya hidup sehat, keterbatasan lahan, serta tingginya konsumsi energi pada bangunan olahraga menuntut pendekatan desain yang lebih adaptif dan berkelanjutan, mengingat sebagian besar fasilitas olahraga eksisting masih bergantung pada sistem pencahayaan buatan dan pendinginan mekanis yang boros energi. Secara konseptual, arsitektur berkelanjutan dan bangunan dengan sistem *energy harvesting* menyediakan landasan teori untuk memanfaatkan energi terbarukan dari sumber non-konvensional, termasuk energi kinetik manusia yang dihasilkan melalui pijakan kaki dan aktivitas alat olahraga (Selim et al., 2024).

Studi mengenai *self-powering gyms* menunjukkan bahwa energi yang diekstraksi dari aktivitas sepeda statis dan peralatan kebugaran lainnya berpotensi mengurangi ketergantungan terhadap pasokan listrik eksternal (Ihsan, 2020). Dalam konteks desain bangunan olahraga, pengembangan kompleks olahraga berbasis konsep *net zero energy* telah diteliti melalui penerapan sistem fotovoltaik berskala besar dan penyimpanan energi sebagai upaya menyeimbangkan konsumsi dan produksi energi bangunan (Wu et al., 2023). Namun, penelitian yang mengeksplorasi penerapan konsep *net-surplus energy*, di mana bangunan mampu menghasilkan energi melebihi kebutuhan operasionalnya, masih relatif terbatas, khususnya pada fasilitas olahraga di wilayah tropis.

Di Indonesia, penerapan teknologi arsitektur kinetik, termasuk fasad dan sistem interaktif berenergi mandiri, masih menghadapi tantangan teknis, regulasi, biaya, serta rendahnya kesadaran pasar (Dharmatanna et al., 2024). Dengan latar belakang tersebut, penelitian ini berfokus pada perancangan *sport center* di Jakarta Selatan yang mengintegrasikan teknologi bio-kinetik, sistem panel surya, ventilasi alami, dan manajemen energi terintegrasi untuk mencapai kondisi *net-surplus energy*, sekaligus menjawab isu konsumsi energi tinggi pada fasilitas olahraga, memperkenalkan inovasi arsitektur hijau di Indonesia, dan menawarkan model nyata fasilitas publik yang berkontribusi langsung pada sistem energi bersih perkotaan.



Gambar 1. ilustrasi konsep bangunan *net-zero energy* tropis yang mengintegrasikan elemen ekologis seperti atap hijau, ventilasi alami, dan vegetasi *vertikal*.

Sumber: <https://www.lwkp.com/insights/low-carbon-building-innovations-are-changing-future-architecture/>, diunduh 11/06/2025 9:00 WIB

### Rumusan Permasalahan

Berdasarkan latar belakang tersebut, terdapat sejumlah pertanyaan penting yang perlu dijawab melalui perancangan pusat olahraga berbasis energi terbarukan di Jakarta Selatan. Pertama, perlu ditelaah prinsip desain serta sistem teknologi yang paling tepat untuk mewujudkan *sport center* berbasis *bio-kinetic energy* dengan mempertimbangkan karakteristik iklim tropis dan kondisi sosial masyarakat perkotaan. Kedua, penting untuk memahami urgensi integrasi antara sistem bio-energi dan pendekatan arsitektur regeneratif dalam konteks fasilitas olahraga publik, mengingat keduanya berpotensi meningkatkan performa lingkungan sekaligus memperkuat nilai keberlanjutan jangka panjang. Ketiga, diperlukan kajian mendalam mengenai bagaimana strategi desain arsitektur dapat mengoptimalkan potensi gerakan pengguna sebagai sumber energi bersih, sembari tetap menjawab kebutuhan spasial, sosial, serta kesesuaian terhadap kebijakan tata ruang secara komprehensif. Pertanyaan-pertanyaan ini menjadi dasar konseptual dalam penyusunan rancangan pusat olahraga yang inovatif, kontekstual, dan berorientasi pada efisiensi energi

### Tujuan

Penelitian dan perancangan ini bertujuan untuk mengembangkan konsep *sport center* berbasis teknologi bio-kinetik yang mampu mencapai kondisi energi *net-surplus* di kawasan Jakarta Selatan. Secara spesifik, tujuan penelitian ini adalah: Merancang bangunan olahraga yang kontekstual terhadap lingkungan urban tropis serta berorientasi pada efisiensi dan keberlanjutan energi; Mengintegrasikan sistem *energy harvesting* berbasis bio-kinetik yang mampu mengubah energi mekanis dari aktivitas pengguna menjadi energi listrik yang dapat dimanfaatkan kembali oleh bangunan; Mengoptimalkan kombinasi teknologi bio-kinetik, panel surya, ventilasi silang alami, dan sistem pencahayaan pasif untuk menekan konsumsi energi konvensional hingga tercapai kondisi surplus; dan menghasilkan prototipe desain *sport center* yang tidak hanya memenuhi kebutuhan rekreasi masyarakat, tetapi juga berkontribusi terhadap sistem energi kota melalui produksi energi bersih. Dengan demikian, penelitian ini diarahkan untuk menciptakan model bangunan olahraga yang adaptif, ramah lingkungan, dan berperan sebagai generator energi berkelanjutan di kawasan perkotaan padat seperti Jakarta Selatan.

## 2. KAJIAN LITERATUR

### Teori Arsitektur Regeneratif

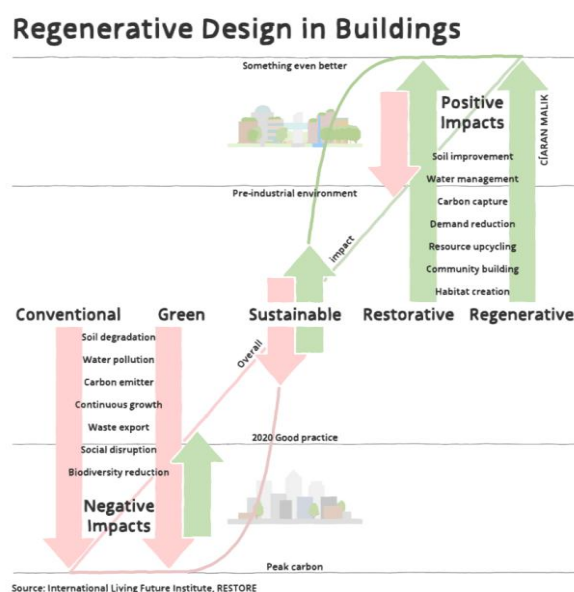
Arsitektur regeneratif berfokus pada penciptaan bangunan yang memulihkan lingkungan, melampaui sekadar keberlanjutan. Konsep ini memandang bangunan sebagai sistem hidup yang memperkaya ekosistem sosial dan ekologisnya (Plaves, 2024). Dalam konteks fasilitas olahraga, prinsip ini diwujudkan melalui integrasi teknologi yang tidak hanya mengurangi dampak negatif, tetapi juga memberikan manfaat positif berupa energi bersih dan kualitas ruang sehat (Kumar et al., 2025).

### Teori *Net-Surplus Energy Building (NSEB)*

NSEB didefinisikan sebagai bangunan yang menghasilkan energi lebih dari kebutuhannya melalui sistem energi terbarukan. Energi surplus dapat disalurkan untuk mendukung fasilitas publik seperti penerangan jalan atau stasiun pengisian listrik kendaraan (Anyanwu et al., 2024). Implementasi NSEB di kawasan tropis menunjukkan peningkatan efisiensi operasional dan pengurangan emisi karbon yang signifikan (Xiaoxiang et al., 2024).

### Teori Energi Bio-Kinetik

Energi bio-kinetik berasal dari gerakan tubuh manusia yang dikonversi menjadi listrik melalui teknologi piezoelektrik atau triboelektrik (Wang et al., 2022). Studi biomekanik menunjukkan bahwa aktivitas fisik seperti berlari atau bersepeda dapat menghasilkan daya listrik berkelanjutan dalam skala mikro (Huang dan Huang, 2024). Dalam konteks arsitektur, sistem ini dapat diterapkan pada lantai, alat olahraga, dan perangkat interaktif untuk mendukung konsep *sportscape* yang produktif secara energi.



Gambar 2. Gambar ini Regenerative Design in Building.  
Sumber: <https://ciaranmalik.org/portfolio/regenerative-design-in-buildings/>, diunduh 07/11/2025 10:00 WIB

## 3. METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif-desain yang bersifat eksploratif dan analitis, dimulai dengan analisis tapak dan konteks urban pada kawasan Cilandak Barat, Jakarta Selatan, yang mencakup kajian terhadap kondisi iklim, kepadatan penduduk, aksesibilitas, serta potensi integrasi dengan ruang publik di sekitarnya. Tahap berikutnya adalah studi literatur dan teori

yang meliputi prinsip arsitektur regeneratif, teknologi energi bio-kinetik, serta konsep *Net-Surplus Energy Building* (NSEB) sebagai landasan perancangan. Proses eksplorasi konseptual dilakukan melalui pengembangan *concept diagram* yang mengintegrasikan sistem *bio-kinetic* dengan desain pasif-aktif serta strategi pengelolaan air hujan. Setelah itu, simulasi energi dan air dilakukan untuk menilai potensi listrik yang dapat dihasilkan dari aktivitas pengguna serta efisiensi pemanfaatan air hujan dalam sistem bangunan. Seluruh temuan kemudian disintesis dalam tahap perancangan untuk menghasilkan model arsitektural *Sportscape Net-Surplus* yang sesuai dengan karakter iklim tropis dan kebutuhan sosial masyarakat Jakarta Selatan.

Alur kerja penelitian ini mengikuti struktur yang sistematis, dimulai dari identifikasi permasalahan dan pengumpulan data konteks tapak, kemudian dilanjutkan dengan penguatan teori sebagai kerangka pemikiran. Tahap eksplorasi desain dilakukan melalui iterasi diagramatis yang menguji berbagai kemungkinan integrasi sistem energi terbarukan. Selanjutnya, simulasi energi dan air digunakan sebagai alat verifikasi awal untuk memperoleh justifikasi performatif terhadap ide desain. Tahap akhir berupa sintesis desain menggabungkan seluruh temuan menjadi sebuah proposal arsitektural yang komprehensif, berkelanjutan, dan responsif terhadap dinamika pengguna serta kondisi lingkungan perkotaan.



Gambar 3. Gambar memperlihatkan arsitektur net zero energy di iklim tropis – dengan ventilasi alami, pencahayaan optimal, dan integrasi lanskap hijau.

Sumber: [https://www.architectmagazine.com/design/buildings/project-gallery-rafflesia-zero-energy-house\\_o](https://www.architectmagazine.com/design/buildings/project-gallery-rafflesia-zero-energy-house_o), diunduh 11/06/2025 9:00 WIB

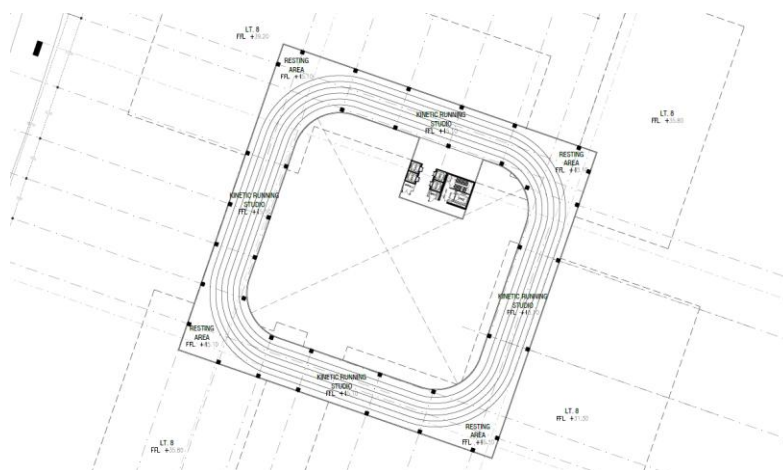
#### 4. DISKUSI DAN HASIL

Konsep *Sportscape Net-Surplus* memperkenalkan paradigma baru dalam perancangan fasilitas publik olahraga yang menyatukan fungsi sosial, teknologi energi bersih, dan prinsip arsitektur regeneratif. Pendekatan ini berangkat dari gagasan bahwa aktivitas manusia dapat menjadi sumber energi terbarukan yang langsung dimanfaatkan oleh bangunan. Dengan demikian, rancangan ini tidak sekadar menciptakan ruang olahraga yang efisien, tetapi juga mengubah bangunan menjadi sistem energi aktif yang berkontribusi terhadap keberlanjutan kota. Dalam konteks tujuan penelitian, pendekatan ini menghasilkan sebuah prototipe *sport center* yang tidak hanya memenuhi kebutuhan rekreasi masyarakat, tetapi juga mampu menghasilkan energi bersih yang dapat disalurkan kembali ke sistem energi kota.

##### **Integrasi Teknologi Bio-Kinetik dan Arsitektur Regeneratif**

Aspek utama *Sportscape Net-Surplus* terletak pada integrasi teknologi bio-kinetik yang mengkonversi energi gerak manusia menjadi listrik melalui *kinetic floor*, sepeda statis penghasil daya, dan *self-powered treadmill* dengan *integrated energy converters*. Energi yang dihasilkan dialirkan ke jaringan internal bangunan untuk mendukung pencahayaan, ventilasi rendah daya, dan utilitas ringan. Setiap perangkat memiliki karakter performatif berbeda, dari respons

intensitas langkah hingga produksi ratusan *watt* per sesi latihan, yang seluruhnya terhubung dalam skema *DC microgrid* efisien. Sebagai kelanjutan sistem tersebut, konsep ini diterapkan pada *Kinetic Running Studio* dengan lintasan lari sepenuhnya menggunakan lantai interaktif. Setiap aktivitas berlari berfungsi sebagai mekanisme produksi energi, di mana tekanan, frekuensi langkah, dan durasi dikonversi secara kontinu. Hasilnya menunjukkan ruang olahraga berubah menjadi generator energi aktif yang menopang pencahayaan studio, sistem kontrol digital, serta terintegrasi ke *DC microgrid*, sekaligus menegaskan arsitektur regeneratif berbasis partisipasi pengguna dalam siklus energi bangunan yang berkelanjutan dan edukatif bagi masyarakat perkotaan secara kolektif luas.



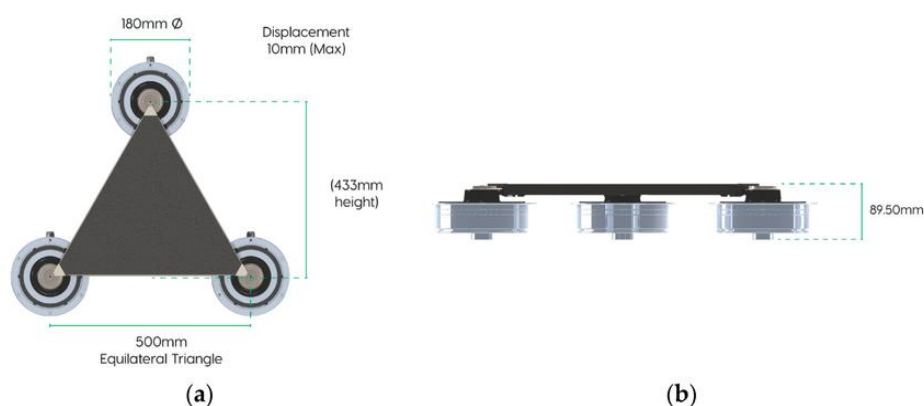
Gambar 4. Gambar Denah Kinetic Running Studio

Sumber: olahan pribadi, 2026



Gambar 5. Lantai Interaktif.

Sumber: <https://thehustle.co/pavegen-crowdfunding-pavement-data-startup>, diunduh 07/11/2025 10:00 WIB



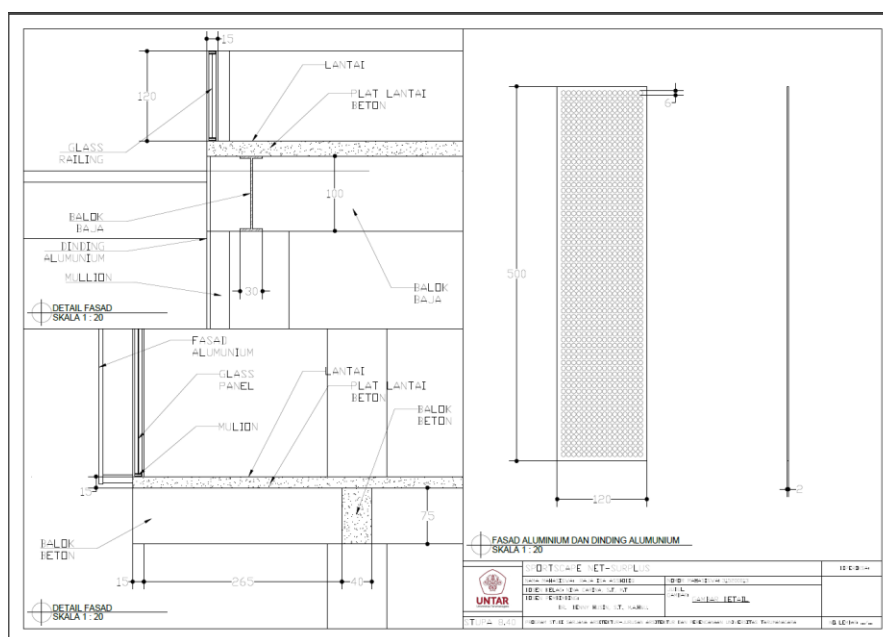
Gambar 6. Dimensi Lantai Interaktif

Sumber: [https://www.researchgate.net/figure/V3R-version-of-Pavegens-tile-68-top-view-a-side-view-b\\_fig30\\_357711949](https://www.researchgate.net/figure/V3R-version-of-Pavegens-tile-68-top-view-a-side-view-b_fig30_357711949) , diunduh 07/11/2025 10:00 WIB

### Sinergi Sistem Aktif dan Pasif dalam Efisiensi Energi

Desain *Sportscape Net-Surplus* menyeimbangkan sistem teknologi aktif dan strategi pasif. Sistem pasif diterapkan melalui pencahayaan alami, ventilasi silang, dan penggunaan material reflektif untuk menekan beban pendinginan hingga 30%. Hal ini mendukung temuan Alwayshah et. al, (2025) yang menegaskan bahwa penerapan fasad adaptif dapat menurunkan kebutuhan energi pendinginan hingga 20%. Pencahayaan alami dioptimalkan dengan orientasi bangunan yang memperhatikan arah datangnya sinar matahari, serta pemanfaatan *clerestory window* dan *light shelf* yang memantulkan cahaya ke ruang dalam tanpa meningkatkan temperatur. Ventilasi silang dikontrol dengan *louver* dan bukaan fleksibel yang mengikuti arah angin dominan di Jakarta Selatan, sedangkan material atap dan dinding dengan *solar reflectance index* tinggi digunakan untuk menahan panas langsung. Dengan mengkombinasikan strategi ini, konsumsi listrik untuk pendinginan dan penerangan berkurang drastis, sehingga energi yang dihasilkan dari sistem aktif dapat dimanfaatkan secara lebih efisien.

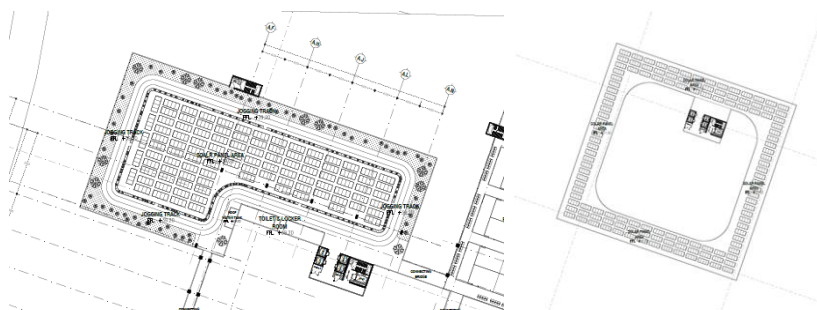
Sebagai penguatan strategi pasif dalam efisiensi energi, rancangan fasad *Sportscape Net-Surplus* dirumuskan sebagai elemen utama pengendali cahaya, panas, dan aliran udara yang responsif terhadap iklim tropis Jakarta. Detail fasad menunjukkan penerapan dua tipe selubung bangunan, yaitu dinding aluminium berlubang yang memungkinkan udara alami mengalir bebas untuk mendukung ventilasi silang, serta fasad kaca dengan *second skin* aluminium perforated yang menyaring cahaya matahari agar masuk secara difus tanpa menimbulkan silau dan panas berlebih. Kombinasi kedua sistem fasad ini menciptakan keseimbangan antara transparansi, kenyamanan termal, dan kualitas pencahayaan alami, sehingga mampu menurunkan beban pendinginan ruang dan meningkatkan efisiensi energi bangunan secara pasif. Dengan demikian, fasad tidak hanya berperan sebagai elemen estetika, tetapi juga sebagai perangkat arsitektur adaptif yang berkontribusi langsung terhadap kinerja energi dan keberlanjutan bangunan.



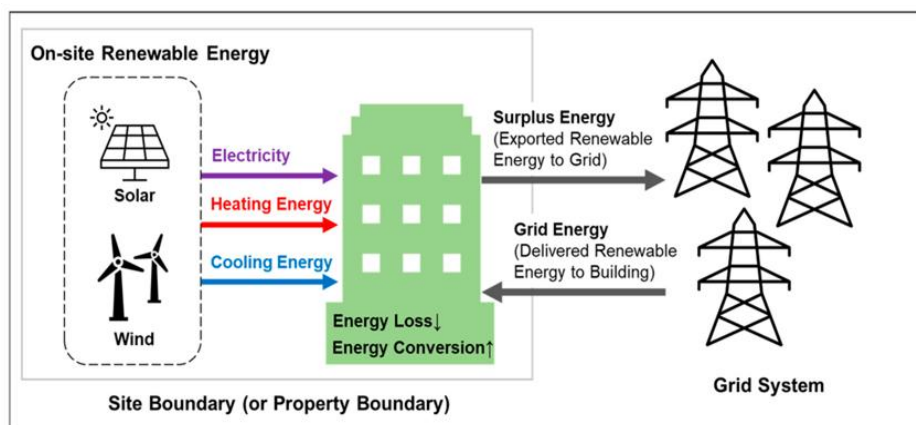
Gambar 7. Gambar Detail Arsitektur: Fasad Desain Pasif Aktif  
Sumber: olahan pribadi, 2026

### Optimalisasi Sistem Solar Panel dan Prinsip Net-Surplus

Untuk mencapai kondisi *net-surplus energy*, desain *Sportscape Net-Surplus* mengintegrasikan dua sumber energi utama, yaitu sistem bio-kinetik dan sistem *photovoltaic* (PV). Panel surya berkapasitas 60 kWp ditempatkan di atap dan area parkir dengan orientasi optimal terhadap lintang Jakarta Selatan, serta menggunakan teknologi *bifacial PV* yang mampu meningkatkan efisiensi hingga 12% melalui penyerapan radiasi ganda. Sistem bio-kinetik beroperasi optimal saat intensitas aktivitas pengguna tinggi, sementara panel surya menyediakan pasokan energi stabil sepanjang hari, keduanya disalurkan ke *smart inverter* dan disimpan dalam baterai berkapasitas besar sebagai cadangan energi. Hasil simulasi menunjukkan bahwa aktivitas sekitar 1.000 pengguna per hari dapat menghasilkan 45–50 kWh dari sistem bio-kinetik, dan jika dikombinasikan dengan produksi energi PV, total energi yang dihasilkan mencapai *surplus* hingga 120% dari kebutuhan operasional bangunan. *Surplus* energi ini dialokasikan untuk penerangan publik dan charging station kendaraan listrik, menjadikan *Sportscape Net-Surplus* berfungsi sebagai fasilitas olahraga sekaligus *micro-power plant* yang berkontribusi langsung pada sistem energi perkotaan.



Gambar 8. Gambar Denah Solar Panel pada rancangan bangunan Penulis.  
sebelah kiri: lantai 8, sebelah kanan: lantai 10/atap  
Sumber: olahan pribadi, 2026

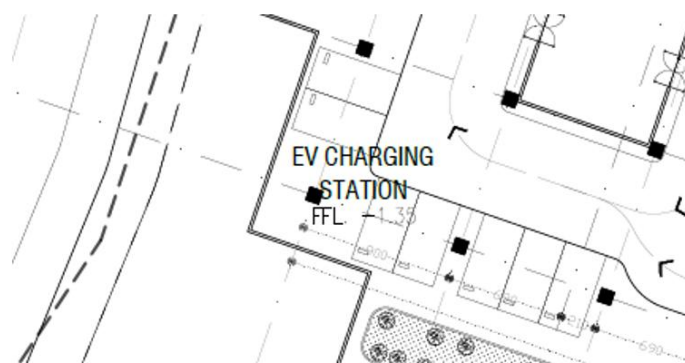


Gambar 9. Gambar memperlihatkan Energy Flow

Sumber: [https://www.researchgate.net/figure/Energy-flow-and-configuration-diagram-of-a-net-zero-energy-building-to-achieve-net-zero\\_fig1\\_380009814](https://www.researchgate.net/figure/Energy-flow-and-configuration-diagram-of-a-net-zero-energy-building-to-achieve-net-zero_fig1_380009814) (diunduh 11/06/2025 9:00 WIB)

### Dampak Sosial dan Ekologis terhadap Kawasan Perkotaan

*Sportscape Net-Surplus* menunjukkan bahwa bangunan olahraga dapat berfungsi sebagai infrastruktur energi perkotaan yang aktif, sebagaimana ditunjukkan oleh keberadaan *EV Charging Station* pada area publik tapak. Elemen ini merepresentasikan pemanfaatan langsung *surplus* energi yang dihasilkan dari sistem bio-kinetik dan panel surya untuk mendukung mobilitas berkelanjutan. Dari sisi sosial, fasilitas ini tidak hanya menjadi ruang olahraga dan interaksi, tetapi juga sarana edukasi energi, di mana pengguna memahami bahwa aktivitas fisik mereka berkontribusi nyata pada pengisian energi kendaraan listrik. Integrasi stasiun pengisian kendaraan listrik memperkuat keterkaitan antara perilaku individu, produksi energi terbarukan, dan sistem energi kota. Secara keberlanjutan, rancangan ini mendukung kesehatan masyarakat melalui aktivitas fisik yang aman dan nyaman, sekaligus mendorong transisi menuju energi bersih dan infrastruktur urban rendah emisi. Keberadaan ruang terbuka, vegetasi peneduh, serta sistem energi terintegrasi meningkatkan kualitas mikroklimat dan kenyamanan lingkungan sekitar. Keterlibatan pengguna sebagai produsen sekaligus konsumen energi menciptakan mekanisme umpan balik sosial yang mendorong kesadaran ekologis kolektif. Dengan demikian, *Sportscape Net-Surplus* berperan sebagai simpul arsitektur regeneratif yang relevan secara sosial, fungsional secara teknis, dan signifikan dalam mendukung sistem energi kota berkelanjutan.



Gambar 10. Gambar denah posisi *EV CHARGING STATION*

Sumber: olahan pribadi (dibuat 7/01/2026 9:00 WIB)

### Analisis Kinerja Energi dan Potensi Implementasi

Analisis kinerja energi memperlihatkan bahwa kombinasi sistem bio-kinetik dan panel surya mampu menurunkan ketergantungan terhadap energi eksternal secara signifikan. Energi kinetik menyumbang sekitar 40% dari kebutuhan listrik, sementara sistem PV menambah 80–90 kWh per hari, menghasilkan *surplus* bersih hingga 120%. Temuan ini sejalan dengan Lytle et al. (2025) yang menyatakan bahwa *energy harvesting* di ruang publik berpotensi memberikan kontribusi besar terhadap efisiensi energi perkotaan. Faktor kunci keberhasilan sistem ini adalah konsistensi aktivitas fisik pengguna—seperti penggunaan *treadmill*, sepeda statis berpenghasil daya, serta pergerakan intens pada area *kinetic floor*—yang menjadi sumber energi utama. Aktivitas ini dikelola melalui jadwal operasional, zonasi ruang, serta pengaturan kapasitas pengguna sehingga suplai energi bio-kinetik dapat diprediksi dan distabilkan sebelum masuk ke sistem penyimpanan.

Dalam konteks Jakarta Selatan dengan intensitas radiasi matahari tahunan tinggi (rata-rata 4,5–5,2 kWh/m<sup>2</sup>/hari), efisiensi sistem PV dapat dimaksimalkan tanpa memerlukan sistem pelacak (*tracking system*). Keunggulan ini membuat implementasi teknologi surya relatif lebih sederhana dibandingkan sistem energi terbarukan lain seperti turbin angin atau *biogas plant* yang membutuhkan lahan luas. Secara teknis, integrasi *smart energy management system* memungkinkan pemantauan produksi dan konsumsi energi secara waktu nyata. Setiap zona bangunan dapat diatur berdasarkan data aktual suhu, intensitas cahaya, dan kepadatan pengguna, sehingga efisiensi operasional dapat dioptimalkan tanpa intervensi manual. Hasil ini juga memperkuat peran prototipe *Sportscape Net-Surplus* sebagai model bangunan publik yang mampu menghasilkan energi bersih dan mengembalikannya ke jaringan kota.



Gambar 11. Gambar Skema Bio-Kinetik pada Bangunan yang dirancang oleh Penulis  
Sumber: olahan pribadi, 2026

### Tantangan Teknis dan Strategi Pengembangan

Meski potensinya besar, penerapan sistem panel surya dan bio-kinetik menghadapi tantangan, seperti investasi awal yang tinggi dan kebutuhan integrasi lintas disiplin. Strategi pengembangan mencakup skema pembiayaan hijau, insentif pajak, dan program edukasi publik. Integrasi fitur digital seperti *real-time energy display* dapat meningkatkan partisipasi pengguna. Selain itu, teknologi *IoT* dan *Building Management System (BMS)* membuka peluang efisiensi jangka panjang dengan menyesuaikan pola konsumsi energi secara otomatis berdasarkan cuaca, waktu, dan aktivitas pengguna.

### Sintesis Konseptual dan Implikasi Teoretis

Secara konseptual, *Sportscape Net-Surplus* memperluas paradigma arsitektur berkelanjutan dari efisiensi menuju produktivitas energi. Integrasi bio-energi dan energi surya membuktikan bahwa bangunan dapat berperan sebagai entitas produktif dalam siklus energi kota. Pendekatan ini

mengaitkan teknologi, perilaku pengguna, dan lingkungan dalam satu sistem regeneratif. Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa *Sportscape Net-Surplus* berhasil memenuhi tujuan utama: menghadirkan prototipe desain *sport center* yang menyediakan ruang rekreasi inklusif sekaligus menghasilkan energi bersih yang dapat berkontribusi langsung terhadap sistem energi kota. Dengan menggabungkan energi dari tubuh dan matahari, *Sportscape Net-Surplus* menjadi simbol transisi menuju kota yang mandiri energi, sehat, dan resilien terhadap tantangan ekologis masa depan.

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa integrasi teknologi bio-kinetik, sistem panel surya, strategi desain pasif, dan manajemen energi cerdas mampu menghasilkan prototipe bangunan olahraga yang tidak hanya efisien, tetapi juga produktif secara energi. Rancangan *Sportscape Net-Surplus* berhasil membuktikan bahwa aktivitas manusia—berupa langkah, gerakan olahraga, hingga penggunaan sepeda statis dan *treadmill*—dapat dikonversi menjadi energi listrik yang terukur dan dimanfaatkan kembali oleh bangunan. Bersamaan dengan kontribusi panel surya berkapasitas 60 kWp, bangunan mencapai kondisi *surplus* energi hingga 120%, menjadikannya bukan hanya sekadar fasilitas olahraga, tetapi juga *micro-power plant* yang memberikan pasokan energi bagi ruang publik dan sistem kota.

Secara arsitektural, proyek ini menunjukkan bahwa prinsip arsitektur regeneratif dapat diterapkan secara konkret dalam fasilitas olahraga perkotaan. *Sportscape Net-Surplus* tidak hanya mengurangi dampak lingkungan, tetapi menghasilkan manfaat ekologis melalui produksi energi bersih, peningkatan kualitas udara mikro, dan penciptaan ruang sosial yang mendorong interaksi publik. Integrasi sistem aktif dan pasif membuktikan bahwa desain bangunan tropis dapat mencapai performa energi optimal tanpa mengorbankan kenyamanan termal dan estetika. Selain memenuhi kebutuhan rekreasi masyarakat urban, prototipe desain ini secara langsung menjawab tujuan penelitian untuk menciptakan fasilitas olahraga yang berperan dalam sistem energi kota. Dengan memadukan energi dari tubuh manusia dan radiasi matahari, *Sportscape Net-Surplus* memberikan model awal yang dapat direplikasi pada skala lebih luas—baik di lingkungan pendidikan, taman kota, maupun pusat komunitas—untuk mendorong transisi menuju kota mandiri energi.

### Saran

Penelitian ini membuka peluang pengembangan lanjutan baik secara teknis, teoretis, maupun sosial. Penelitian selanjutnya disarankan melakukan simulasi energy modeling yang lebih rinci dengan mempertimbangkan variasi pola penggunaan, fluktuasi jumlah pengguna, dan pengaruh musim terhadap kinerja sistem PV, serta melakukan pengujian prototipe fisik teknologi bio-kinetik untuk memperoleh data empiris terkait efisiensi, durabilitas, dan kebutuhan perawatan. Selain itu, kolaborasi lintas disiplin antara arsitek, insinyur, pakar energi terbarukan, dan pemerintah daerah diperlukan untuk merumuskan regulasi serta standar teknis penerapan teknologi bio-kinetik pada bangunan publik. Pengembangan integrasi IoT dan *Building Management System* (BMS) juga direkomendasikan untuk mengoptimalkan otomatisasi dan efisiensi operasional bangunan. Dari aspek sosial, program edukasi publik perlu dikembangkan guna meningkatkan kesadaran masyarakat akan energi bersih dan mendorong peran aktif pengguna dalam sistem energi kota, sehingga *Sportscape Net-Surplus* berfungsi tidak hanya sebagai fasilitas olahraga, tetapi juga sebagai katalis transformasi budaya menuju gaya hidup urban yang berkelanjutan.

## REFERENSI

- Alawaysheh, A., Al-Qutaish, R., dan Obeidat, R. (2025). *The impact of adaptive kinetic façade design on energy efficiency in hot climates. International Journal of Sustainable Energy*, 15(3), 420–435. <https://doi.org/10.3390/buildings15030420>
- Anyanwu, E., Zhang, M., dan Liu, X. (2024). *Performance evaluation of net-surplus energy buildings in tropical climates: Toward positive energy cities. Journal of Energy and Buildings*, 308, 113986. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.113986>
- Dharmatanna, H., Setyawan, A., dan Nugroho, D. (2024). The challenge of kinetic architectural technology implementation in Indonesia: Regulatory and technical perspectives. *International Journal of Engineering and Technology*, 13(2), 115–124.
- Huang, Y., dan Huang, X. (2024). *Biomechanical electricity generation through triboelectric nanogenerators for sustainable architecture. Journal of Renewable Energy*, 225, 120–133. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.01.011>
- Ihsan, M. (2020). Self-powering gyms: The role of human-powered energy in sustainable recreational facilities. *Journal of Sustainable Design Studies*, 8(2), 77–89.
- Kumar, S., Patel, A., dan Thomas, G. (2025). *Regenerative architecture and environmental performance in community buildings: A holistic approach. Journal of Sustainability*, 17(4), 2294. <https://doi.org/10.3390/su17042294>
- Lytle, M., Radewych, M., Mai, T., dan Fung, A. S. (2025). *A review and characterization of energy-harvesting resources in buildings. Journal of Energies*, 18(2), 650. <https://doi.org/10.3390/en18020650>
- Plaves, Y., Jacobs, P., Uylaki, T., dan Jonescu, E. E. (2024). *Towards a regenerative future: Understanding practical implementation, research, and benchmarking in the built environment. Urban Design and Planning*, 1–19. <https://doi.org/10.1680/jurdp.23.00036>
- Selim, M., Wang, P., dan Li, R. (2024). *Human kinetic energy harvesting for sustainable building systems. Energies Journal*, 17(10), 2297. <https://doi.org/10.3390/en17102297>
- Wang, Z., Liu, J., dan Wu, J. (2022). *Piezoelectric and triboelectric energy harvesting from human motion for low-power architecture applications. Journal of Nano Energy*, 100, 107459. <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2022.107459>
- Wu, Y., Xia, H., dan Zhang, L. (2023). Hybrid photovoltaic systems in net-surplus sports complexes: Simulation and optimization analysis. *Journal of Building Performance Simulation*, 16(5), 487–501. <https://doi.org/10.1080/19401493.2023.1012345>
- Xiaoxiang, L., Cheng, Y., dan Ren, W. (2024). Energy optimization strategies for net-surplus buildings in humid tropical cities. *Journal of Cleaner Production*, 440, 140296. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.140296>