

Velodrome Berkelanjutan: Penerapan Tata Ruang Cerdas di Pantai Indah Kapuk, Jakarta Utara

Handiarto Aryo Brata^{1*}, dan Yuke Ardhiati²

^{1,2}Jurusan Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, Jakarta

Abstrak. Pembangunan infrastruktur berskala besar seperti Velodrome di kawasan pesisir Jakarta Utara (PIK) menghadapi tantangan keberlanjutan lingkungan dan efisiensi operasional. Studi perancangan ini bertujuan mengintegrasikan prinsip Arsitektur Berkelanjutan dan Tata Ruang Cerdas (*Smart Spatial Planning*) untuk menciptakan Velodrome yang memenuhi standar fungsionalitas olahraga internasional (UCI) dan meminimalkan dampak lingkungan. Metode yang digunakan adalah Studi Perancangan Berbasis Konsep melalui analisis literatur standar teknis (UCI), prinsip *Green Building*, dan *Smart Spatial Planning*. Proses ini disintesis dengan analisis iklim mikro Jakarta Utara (PIK). Hasil perancangan menunjukkan penerapan solusi energi pasif (orientasi dan insulasi), pembangkitan energi aktif (PV atap untuk 30% kebutuhan energi), dan daur ulang air hujan (*Rainwater Harvesting* untuk 75% pengurangan air *potable*). Selain itu, sistem *Building Management System* (BMS) dan sensor cerdas diintegrasikan pada tata ruang luar untuk mengoptimalkan efisiensi operasional dan adaptabilitas lingkungan. Kesimpulannya, konsep ini menghasilkan model Velodrome yang efisien sumber daya dan berfungsi sebagai *pilot project* fasilitas publik cerdas dan ramah lingkungan.

Kata kunci— *Arsitektur, Berkelanjutan, Velodrome, Smart Building, Bangunan Hijau.*

1. PENDAHULUAN

Pembangunan infrastruktur perkotaan yang masif, terutama fasilitas publik berskala besar, kini berada di bawah tuntutan kuat untuk mengadopsi prinsip keberlanjutan [1]. Sektor konstruksi dikenal sebagai salah satu penyumbang terbesar emisi gas rumah kaca dan konsumsi sumber daya global, sehingga inovasi dalam perancangan arsitektur menjadi sebuah keniscayaan [2]. Hal ini diperburuk dengan kondisi spesifik di kawasan pesisir dan urban seperti Jakarta Utara, khususnya Pantai Indah Kapuk (PIK), yang menghadapi tantangan lingkungan unik seperti ancaman hidrologi (penurunan muka tanah dan banjir) serta tingginya permintaan energi operasional.

Velodrome sebagai fasilitas olahraga dengan bentang lebar dan kebutuhan utilitas yang kompleks (terutama pengaturan suhu dan pencahayaan) memiliki profil konsumsi energi yang sangat tinggi. Perancangan konvensional cenderung mengabaikan integrasi sistem ekologis dan digital [3][4]. Oleh karena itu, studi perancangan ini hadir untuk menjembatani standar fungsionalitas teknis Velodrome (Union Cycliste Internationale/UCI) dengan dua pilar utama: Arsitektur Berkelanjutan untuk meminimalkan dampak lingkungan dan Tata Ruang Cerdas (*Smart Spatial Planning*) untuk mengoptimalkan efisiensi operasional dan manajemen fasilitas.

Penelitian ini bertujuan memposisikan Velodrome tidak hanya sebagai tempat untuk balap sepeda, tetapi sebagai *pilot project* bangunan publik yang mampu beroperasi secara efisien, responsif terhadap lingkungannya, dan berkontribusi terhadap citra kota cerdas dan hijau di Jakarta.

Velodrome didefinisikan sebagai arena olahraga yang dirancang khusus untuk balap sepeda trek. Karakteristik utama Velodrome terletak pada lintasan ovalnya yang memiliki kemiringan (*banking*) pada area tikungan untuk memungkinkan kecepatan tinggi. Standar teknis, terutama dimensi dan geometri lintasan,

* Corresponding author: handiarto@gmail.com

diatur secara ketat oleh regulasi UCI [5][6]. Perancangan arsitektur Velodrome, khususnya atap dan selubung bangunan (*envelope*), sangat dipengaruhi oleh kebutuhan untuk melindungi lintasan dari elemen luar (hujan, angin, dan matahari) sambil tetap menyediakan kondisi pencahayaan dan termal yang optimal bagi atlet dan penonton. Massa bangunan yang besar dan tinggi ini menciptakan tantangan dalam hal efisiensi energi dan material, menjadikannya tipologi ideal untuk aplikasi *Green Architecture*.

Arsitektur berkelanjutan (*Sustainable Architecture*) merupakan pendekatan perancangan yang bertujuan meminimalkan dampak negatif lingkungan melalui penggunaan energi, air, dan material yang efisien[7]. Dalam konteks bangunan olahraga berskala besar seperti Velodrome, prinsip ini dibagi menjadi dua strategi utama yang harus terintegrasi sejak fase perancangan konseptual.

Strategi Pasif: Strategi desain ini memanfaatkan sumber daya alam dan kondisi tapak untuk mengurangi ketergantungan pada sistem mekanikal.

- a. Orientasi dan *Envelope* Bangunan: Desain harus mengoptimalkan orientasi Velodrome agar perolehan panas matahari dari timur dan barat dapat diminimalkan, sekaligus memaksimalkan cahaya alami *diffuse* di dalam lintasan untuk mengurangi penggunaan lampu di siang hari [8].
- b. Ventilasi Alami dan Insulasi: Penggunaan insulasi termal yang tinggi pada atap dan fasad untuk meminimalkan perpindahan panas. Perancangan sistem ventilasi alami silang yang efisien juga perlu dilakukan di area *concourse* dan pendukung [9].

Strategi Aktif: Mencakup penerapan teknologi untuk menghasilkan energi atau menghemat sumber daya.

- a. Pembangkit Listrik Terbarukan: Pemanfaatan atap Velodrome yang luas sebagai area penempatan panel surya fotovoltaik (PV) untuk memenuhi sebagian besar kebutuhan energi operasional harian bangunan.
- b. *Rainwater Harvesting* (RWH): Air hujan dari atap dikumpulkan dan diolah untuk digunakan kembali sebagai air non-potable (siraman toilet, irigasi lanskap), sehingga mengurangi beban penggunaan air bersih dari PDAM[10].

Tata Ruang Cerdas adalah integrasi teknologi sensor, Internet of Things (IoT), dan *Information and Communication Technology* (ICT) ke dalam lingkungan fisik untuk mengoptimalkan manajemen sumber daya, efisiensi operasional, dan kualitas pengalaman pengguna. Penerapan konsep ini dalam fasilitas publik menciptakan ruang yang responsif dan efisien [11].

Sistem Bangunan Cerdas (*Smart Building System*): Digunakan untuk mengelola sistem internal bangunan.

- a. *Building Management System* (BMS): Sistem terpusat ini secara otomatis mengontrol dan memonitor seluruh sistem utilitas (HVAC, pencahayaan, keamanan). Di Velodrome, BMS sangat vital untuk menjaga suhu dan kelembaban udara yang stabil (suhu optimal dapat memengaruhi kecepatan lintasan) berdasarkan data sensor dan tingkat hunian *real-time* [12].
- b. Pencahayaan Adaptif: Penggunaan sensor gerak dan cahaya (lux) menyesuaikan intensitas penerangan di area penonton dan sirkulasi, memastikan energi hanya digunakan sesuai kebutuhan [13].

Manajemen Tapak Cerdas (*Smart Site Management*): Fokus pada area luar Velodrome.

- a. *Smart Parking*: Sistem sensor terintegrasi dengan aplikasi untuk memberikan panduan parkir *real-time* kepada pengunjung, mengurangi kemacetan dan emisi kendaraan yang berputar mencari tempat parkir [14].
- b. *Smart Waste Management*: Penempatan tempat sampah pintar (IoT *smart bins*) memonitor volume dan jenis sampah, mengoptimalkan rute dan jadwal pengumpulan limbah untuk efisiensi logistic [15].

2. METODOLOGI PENELITIAN

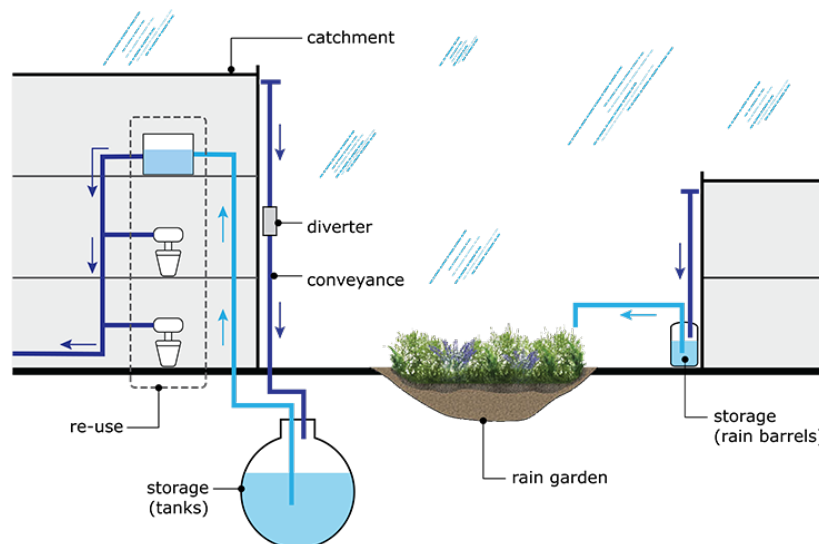
Metode yang digunakan dalam karya ilmiah perancangan ini adalah Studi Perancangan Kualitatif (*Design-Based Research*) dengan fokus pada sintesis teori dan data untuk menghasilkan konsep arsitektur inovatif. Penelitian ini mengambil studi kasus perancangan konseptual fasilitas Velodrome yang berlokasi di Pantai Indah Kapuk (PIK), Jakarta Utara. Pemilihan lokasi ini didasarkan pada karakteristik lingkungan pesisir yang menuntut solusi adaptif terhadap isu keberlanjutan dan tata ruang yang cerdas. Alur metode perancangan

dilaksanakan melalui tiga fase utama yang bersifat siklus dan terintegrasi. Fase pertama adalah Pengumpulan Data, meliputi data primer berupa regulasi fungsional Velodrome (standar UCI) dan data sekunder berupa studi literatur mengenai kerangka Arsitektur Berkelanjutan (*Green Building*), konsep *Smart Planning*, serta data kontekstual (iklim mikro dan hidrologi Jakarta Utara). Fase kedua adalah Analisis Tapak dan Kebutuhan. Analisis ini mencakup pergerakan matahari dan arah angin untuk menentukan orientasi bangunan yang optimal, analisis risiko hidrologi tapak, dan perhitungan kebutuhan fungsional ruang. Fase ketiga adalah Sintesis dan Konsep Perancangan. Pada tahap ini, hasil analisis tapak disintesis dengan tiga kerangka kerja utama, yaitu Fungsionalitas (memenuhi UCI), Keberlanjutan (penerapan strategi pasif dan aktif), dan Kecerdasan (integrasi BMS dan IoT), yang kemudian dirumuskan menjadi diagram perancangan dan ilustrasi visual. Perlu dicatat, fokus utama studi ini adalah menghasilkan konsep desain dan diagram implementasi teknologi, bukan gambar kerja teknis mendetail (DED). Validasi efisiensi bangunan didasarkan pada kesesuaian dengan prinsip-prinsip *Green Building* yang teruji dan estimasi teoritis, bukan melalui simulasi numerik yang kompleks.

3. HASIL PENELITIAN

Berdasarkan sintesis antara standar teknis Velodrome (UCI), analisis tapak Jakarta Utara, serta kerangka Arsitektur Berkelanjutan dan Tata Ruang Cerdas, penelitian ini merumuskan kerangka strategi desain. Strategi ini membuktikan bahwa integrasi kedua pilar tersebut berfungsi sebagai instrumen media fungsional, bukan sekadar elemen estetika. Strategi desain yang dihasilkan difokuskan pada tiga aspek utama: reduksi dampak lingkungan bangunan, optimalisasi operasional internal, dan efisiensi manajemen tata ruang luar.

Strategi pertama difokuskan pada upaya meminimalkan jejak ekologis bangunan berskala besar. Hal ini dicapai melalui integrasi strategi pasif dan aktif pada desain selubung bangunan. Secara pasif, orientasi Velodrome dioptimalkan untuk mengurangi perolehan panas matahari dari timur dan barat, sekaligus memaksimalkan cahaya alami *diffuse* di dalam lintasan untuk mengurangi penggunaan lampu di siang hari. Ventilasi alami silang juga dirancang efisien di area *concourse* untuk mengurangi kebutuhan pendinginan mekanis. Secara aktif, atap Velodrome yang luas dimanfaatkan sebagai area panel surya fotovoltaik (PV) yang diproyeksikan memenuhi sebagian besar kebutuhan energi harian. Pemanfaatan sumber daya air juga diatasi melalui sistem Pemanenan Air Hujan (*Rainwater Harvesting*) yang dapat mengurangi kebutuhan air bersih *potable* untuk kebutuhan non-konsumsi hingga 75%.



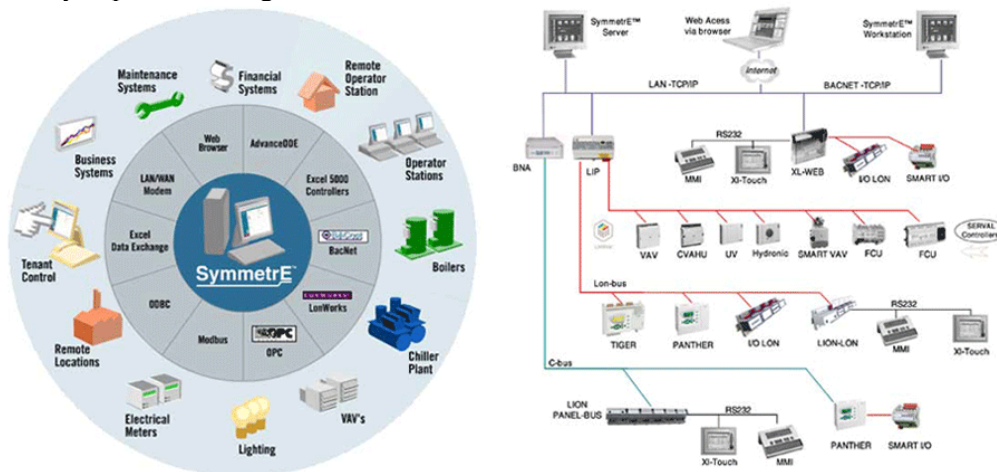
Gambar 1. Skema *Rain Water Harvesting*

Sumber gambar: <https://www.next.cc/journey/design/rain-water-harvesting> [16].



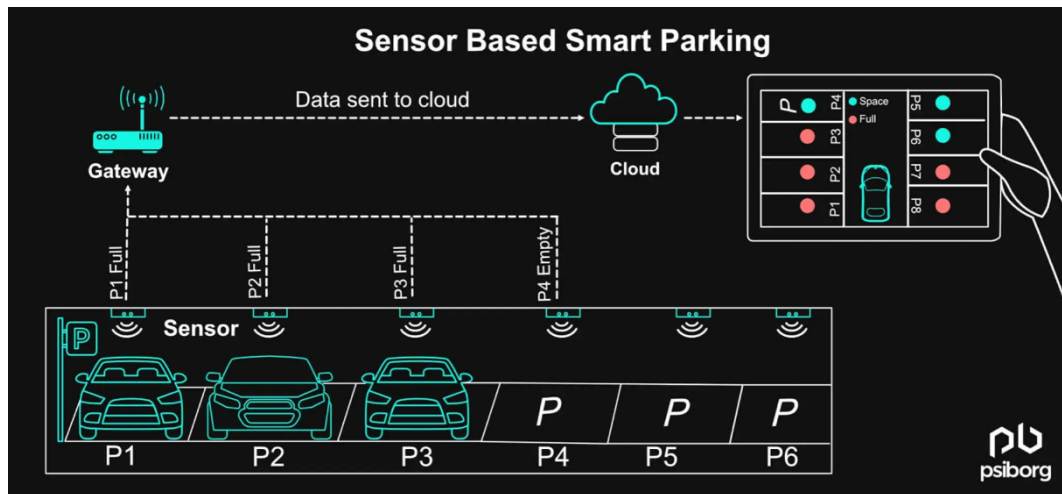
Gambar 2. Penerapan Panel Surya pada Kaohsiung National Stadium
Sumber gambar: <https://suryaenergi.co.id/en/2023/06/> [17].

Strategi kedua ditujukan untuk meningkatkan efisiensi dan adaptabilitas lingkungan operasional di dalam Velodrome. Hal ini sangat krusial bagi bangunan dengan kebutuhan kondisi termal spesifik. Seluruh sistem utilitas dikelola oleh *Building Management System* (BMS), yang bertindak sebagai otak bangunan. BMS mengontrol dan memonitor HVAC dan pencahayaan berdasarkan data sensor suhu dan tingkat hunian *real-time*. Fungsi ini sangat vital karena suhu dan kelembaban udara yang stabil dapat memengaruhi kinerja lintasan balap dan atlet. Selain itu, diterapkan pencahayaan adaptif berbasis sensor gerak dan cahaya (lux) di area penonton dan sirkulasi, memastikan energi hanya digunakan saat diperlukan, yang menghasilkan penghematan biaya operasional signifikan.



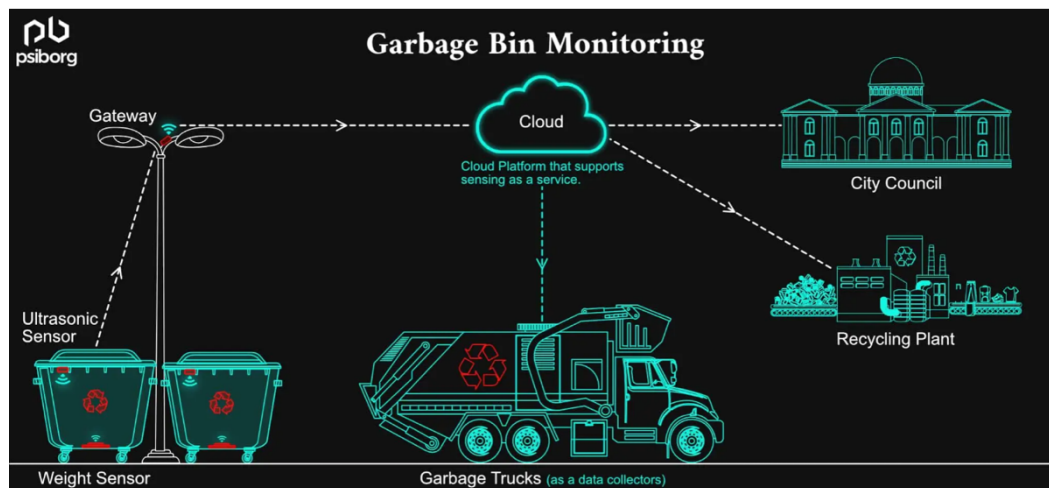
Gambar 3. Skema *Building Management System* (BMS)
Sumber gambar: <https://www.atmata.com/Pages/solutions/bms-and-hvac-controls.html> [18].

Strategi ketiga berfokus pada Tata Ruang Cerdas di area luar Velodrome. Integrasi teknologi sensor pada tapak mengubah elemen pasif menjadi alat manajemen yang efisien. Area parkir dirancang dengan sistem *Smart Parking* yang menggunakan sensor terintegrasi untuk memberikan panduan parkir *real-time* kepada pengunjung, mengurangi kemacetan dan emisi kendaraan. Manajemen limbah juga ditingkatkan melalui sistem *Smart Waste Management* dengan penempatan *smart bins* berbasis IoT. Sensor pada tempat sampah memonitor volume sampah, mengoptimalkan rute dan jadwal pengumpulan limbah untuk efisiensi logistik. Secara keseluruhan, integrasi sistem cerdas di tapak menghasilkan manajemen fasilitas yang lebih lancar dan berkelanjutan.



Gambar 4. Skema Sistem *Smart Parking*

Sumber gambar: <https://psiborg.in/smart-parking-system-using-iot-for-efficient-management/> [19].



Gambar 5. Skema *Smart Waste Management*

Sumber gambar: <https://psiborg.in/iot-based-waste-bin-monitoring-for-smart-cities/> [20].

4. KESIMPULAN

Penelitian perancangan Velodrome Berkelanjutan: Penerapan Tata Ruang Cerdas di Jakarta Utara menyimpulkan bahwa fasilitas olahraga berskala besar dapat berfungsi efektif sebagai model bangunan yang adaptif, efisien, dan ramah lingkungan. Hal ini dicapai melalui metodologi studi perancangan kualitatif yang menyintesis standar fungsionalitas Velodrome (UCI) dengan prinsip Arsitektur Berkelanjutan dan Tata Ruang Cerdas. Hasilnya menunjukkan integrasi strategi efisiensi pasif (orientasi optimal dan ventilasi alami) dan aktif (pemanfaatan PV atap dan sistem *Rainwater Harvesting*) berhasil mereduksi dampak lingkungan dan ketergantungan sumber daya. Aspek Tata Ruang Cerdas terwujud melalui implementasi *Building Management System* (BMS) untuk mengontrol utilitas internal secara *real-time* serta sistem *Smart Parking* dan *Smart Waste Management* di area luar, menciptakan efisiensi operasional dan manajemen tapak yang unggul. Dengan demikian, konsep ini menegaskan bahwa desain arsitektur dapat berperan aktif sebagai *pilot project* dalam mendukung tujuan keberlanjutan kota di Jakarta.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. Hanna and F. Comín, “Urban Green Infrastructure and Sustainable Development: A Review,” *Sustainability*, 2021, doi: 10.3390/su132011498.
- [2] B. D’Amico, F. Pomponi, and J. Hart, “Global potential for material substitution in building construction: The case of cross laminated timber,” *J. Clean. Prod.*, 2021, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.123487.
- [3] M. Elnour *et al.*, “Performance and energy optimization of building automation and management systems:

- Towards smart sustainable carbon-neutral sports facilities,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 2022, doi: 10.1016/j.rser.2022.112401.
- [4] M. Elnour *et al.*, “Neural network-based model predictive control system for optimizing building automation and management systems of sports facilities,” *Appl. Energy*, 2022, doi: 10.1016/j.apenergy.2022.119153.
- [5] T. Stanoev, “On technical considerations of UCI-regulated velodrome track design,” 2022, [Online]. Available: <https://consensus.app/papers/on-technical-considerations-of-uciregulated-velodrome-stanoev/3af082c98445571e9cb6241b61bea62a/>
- [6] M. Solarczyk, “Geometry of cycling track,” vol. 19, pp. 111–119, 2020, doi: 10.35784/bud-arch.1621.
- [7] S. Architecture, S. In, and S. Buildings, “STRATEGI ARSITEKTUR KEBERLANJUTAN PADA BANGUNAN OLAHRAGA,” vol. 1, no. 1, pp. 11–23, 2020.
- [8] S. Lou *et al.*, “Multi-objective optimization of daylighting performance and solar radiation for building geometry using a hybrid evolutionary algorithm,” *Sci. Rep.*, vol. 15, 2025, doi: 10.1038/s41598-025-12165-6.
- [9] X. Huang, Q. Zhang, and I. Tanaka, “Optimization of Architectural Form for Thermal Comfort in Naturally Ventilated Gymnasium at Hot and Humid Climate by Orthogonal Experiment,” *Energies*, 2021, doi: 10.3390/en14113228.
- [10] A. Teston, T. P. Scolaro, J. K. Maykot, and E. Ghisi, “Comprehensive Environmental Assessment of Rainwater Harvesting Systems: A Literature Review,” *Water*, 2022, doi: 10.3390/w14172716.
- [11] B. Alsamani, S. Chatterjee, A. Anjomshoe, and P. Ractham, “Smart Space Design—A Framework and an IoT Prototype Implementation,” *Sustainability*, 2022, doi: 10.3390/su15010111.
- [12] H. Elkhokhi, M. Bakhouya, D. Ouadghiri, and M. Hanifi, “Using Stream Data Processing for Real-Time Occupancy Detection in Smart Buildings,” *Sensors (Basel)*, vol. 22, 2022, doi: 10.3390/s22062371.
- [13] E. Efficiency, “Prototipe Smart Lighting System Berbasis Sensor Lux dan Algoritma Genetika untuk Efisiensi Energi,” no. April, pp. 17–25, 2025, doi: 10.30829/algoritma.v9i1.23965.
- [14] D. A. Wibowo, R. A. Dhafin, R. J. Tumewang, and Y. Servanda, “Perancangan Smart Parking Berbasis IOT Untuk Pengelolaan Parkir,” vol. 11, no. 1, pp. 36–41, 2025.
- [15] S. Waste and M. Systems, “Jurnal manajemen informatika,” vol. 6, no. 2, 2019.
- [16] NEXT.cc, “Rain Water Harvesting.” [Online]. Available: <https://www.next.cc/journey/design/rain-water-harvesting>
- [17] PT. Surya Energi Indotama, “‘From the Sun to the Scoreboard’, These 5 Football Arenas Are Powered by Solar Panels.” [Online]. Available: <https://suryaenergi.co.id/en/2023/06/>
- [18] ATMATA, “Building Management System (BMS & HVAC Controls).” [Online]. Available: <https://www.atmata.com/Pages/solutions/bms-and-hvac-controls.html>
- [19] psiborg, “Smart Parking System Using IoT for Effortless Parking.” [Online]. Available: <https://psiborg.in/smart-parking-system-using-iot-for-efficient-management/>
- [20] psiborg, “IoT based Waste Bin Monitoring for Smart Cities.” [Online]. Available: <https://psiborg.in/iot-based-waste-bin-monitoring-for-smart-cities/>