

Kajian Konsep Arsitektur Modular Pada Stadion Arena Da Baixada, Brazil

Ikmal Tiffani Syaftino¹, Jundi Jundullah Afgani²

^{1,2} Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jakarta, Jakarta, Indonesia

Article Info

Article history:

Received Juli 25, 2025

Revised Juli 25, 2025

Accepted Agustus 3, 2025

Kata Kunci:

Arsitektur Modular,
Prefabrikasi,
Efisiensi,
Keberlanjutan,
Desain Fleksibel.

Keywords:

Modular Architecture,
Prefabrication,
Efficiency,
Sustainability,
Flexible Design.

ABSTRAK

Arsitektur modular adalah pendekatan desain dan konstruksi yang menggunakan modul prefabrikasi yang dapat dirakit untuk membentuk berbagai jenis bangunan. Konsep ini didasarkan pada prinsip keberlanjutan, efisiensi, dan fleksibilitas. Modul standar dibuat di luar lokasi konstruksi dan kemudian dipasang di lokasi utama. Hal ini mengurangi waktu dan biaya konstruksi sekaligus mengurangi jumlah material yang dibuang. Studi ini mempelajari berbagai aspek arsitektur modular, seperti teknik produksi, desain struktural, dan aplikasi di berbagai bidang seperti perumahan, komersial, pendidikan, dan fasilitas publik. Selain itu, penelitian ini membahas keuntungan besar dari menggunakan modul prefabrikasi, seperti peningkatan kualitas konstruksi melalui kontrol produksi yang ketat, pengurangan dampak lingkungan, dan kemampuan untuk menyesuaikan dan memperluas bangunan kapan saja. Namun demikian, ada beberapa masalah yang belum diselesaikan. Ini termasuk batasan desain, ketergantungan pada sistem manufaktur, dan kebutuhan untuk koordinasi yang lebih baik selama proses instalasi. Arsitektur modular memiliki potensi besar untuk terus berkembang dan berperan penting dalam arsitektur masa depan karena perkembangan teknologi konstruksi dan kebutuhan akan solusi bangunan yang lebih cepat dan berkelanjutan.

ABSTRACT

This study examines various aspects of modular architecture, a design and construction approach that uses prefabricated modules that can be assembled flexibly to form various building types. The concept is based on principles of efficiency, flexibility, and sustainability. Standard modules are manufactured off-site and then installed at the main location, which allows for lower construction time and costs while minimizing material waste. Nevertheless, a number of obstacles remain, including design constraints, reliance on manufacturing systems, and the requirement for more thorough cooperation during the installation procedure. Modular architecture has a lot of potential to advance further and play a significant part in future design given the advancements in construction technology and the demand for quicker and more environmentally friendly building solutions.

This is an open access article under the [CC BY](#) license.



Corresponding Author:

Ikmal Tiffani Syaftino
Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jakarta,
Jakarta, Indonesia
Email: 20210410600024@student.umj.ac.id

1. PENDAHULUAN

Bangunan olahraga seperti stadion, arena, dan pusat pelatihan sering dihadapkan pada beberapa tantangan mendasar dalam proses perencanaannya. Masalah seperti biaya konstruksi yang tinggi, durasi pembangunan yang lama, dan kebutuhan akan desain yang fleksibel dan adaptif menjadi kendala umum, terutama ketika fasilitas tersebut harus dibangun untuk memenuhi tenggat waktu acara olahraga nasional atau internasional [1], [2]. Tidak jarang, setelah suatu acara besar selesai, fasilitas olahraga yang dibangun tidak digunakan secara optimal atau bahkan terbengkalai, yang menunjukkan inefisiensi dalam penggunaan sumber daya dan perencanaan jangka panjang [3].

Seiring dengan meningkatnya kesadaran akan isu lingkungan global, muncul tuntutan terhadap pendekatan pembangunan yang lebih berkelanjutan, hemat energi, dan minim limbah. Industri konstruksi termasuk sektor dengan jejak karbon dan konsumsi sumber daya terbesar [4]. Bangunan olahraga yang dibangun dengan metode konvensional umumnya menghasilkan limbah konstruksi dalam jumlah besar dan konsumsi energi tinggi, terutama selama proses pembangunan dan pemeliharaan [5].

Konsep arsitektur modular menawarkan alternatif yang menjanjikan untuk mengatasi permasalahan tersebut. Modularisasi dalam konstruksi melibatkan pembuatan komponen bangunan di luar lokasi (off-site), kemudian diangkut dan dirakit di lokasi pembangunan (on-site) [6]. Pendekatan ini tidak hanya mempercepat waktu pembangunan dan menekan biaya, tetapi juga memungkinkan efisiensi penggunaan material serta pengurangan emisi karbon [7]. Modul-modul tersebut dapat dirancang dengan mempertimbangkan prinsip desain berkelanjutan, seperti efisiensi energi, penggunaan bahan ramah lingkungan, dan fleksibilitas penggunaan ulang struktur [8].

Dalam konteks bangunan olahraga, modularitas memberikan keuntungan strategis, terutama untuk fasilitas yang bersifat sementara atau mobile. Stadion atau arena dapat dirancang untuk dibongkar dan dipindahkan atau digunakan kembali di lokasi lain, yang menghindarkan pemborosan sumber daya pasca-acara [9]. Namun demikian, penerapan arsitektur modular dalam proyek skala besar seperti stadion olahraga masih menghadapi berbagai kendala. Beberapa di antaranya adalah keterbatasan teknologi manufaktur modul, ketidaksesuaian dengan regulasi lokal, serta standar keselamatan dan struktural yang lebih ketat untuk bangunan publik berskala besar [10].

Dengan mempertimbangkan kondisi tersebut, penerapan arsitektur modular dalam pembangunan fasilitas olahraga perlu dikaji secara mendalam untuk menemukan pendekatan yang paling optimal, baik dari segi teknis, ekonomis, maupun ekologis.

2. METODE

Banyak langkah penting diperlukan untuk menyelesaikan analisis data deskriptif kualitatif. Pertama, data dikumpulkan melalui eksplorasi online, dan dokumentasi, dengan peneliti sebagai alat utama. Kemudian, data dikurangi atau disederhanakan melalui proses pemilihan, memfokuskan pada informasi yang penting, dan menggabungkan data mentah menjadi format yang lebih mudah dipahami. Untuk memudahkan peneliti melihat pola dan hubungan antar data, data yang telah direduksi disajikan dalam bentuk naratif, tabel, atau grafik. Pada langkah terakhir, kesimpulan ditarik dari data yang disajikan dan kemudian diverifikasi untuk memastikan bahwa mereka benar dan kredibel.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Arsitektur modular adalah metode desain yang inovatif yang menggunakan modul prefabrikasi untuk membangun struktur. Sistem fabrikasi yang efisien digunakan untuk membuat modul-modul ini, yang memungkinkan konstruksi menjadi lebih cepat dan mengurangi waktu pengerjaan (Dyastari dan Suharjono, 2017). Kemampuan untuk dibongkar, dirakit, ditambah, atau dilepas adalah prinsip utama arsitektur modular. Modul yang telah dibuat dapat dengan mudah dipindahkan dari pabrik ke lokasi pembangunan, menghemat waktu dan biaya konstruksi. Penggunaan sistem modular dalam konteks

hunian tidak hanya mempercepat pembangunan tetapi juga meminimalkan pemeliharaan, menciptakan lingkungan yang ramah lingkungan baik di dalam maupun di luar ruangan. Prihatanti dan Faqih (2016) dan [11]. Arsitektur modular adalah pendekatan desain yang menggunakan modul dengan bentuk yang sama yang diulang. Metode ini membagi sistem menjadi bagian-bagian lebih kecil yang disebut modul. Menurut teori modul Le Corbusier, modul dapat dihitung berdasarkan jarak, permukaan, dan volume (Monindra, 2016). Salah satu prinsip utama teori ini adalah skala manusia, dengan tinggi standar 226 cm, atau 2,3 meter, yang mengacu pada tinggi tubuh manusia ketika lengannya diangkat ke atas. Modular memungkinkan desain yang sukses dengan menghasilkan variasi dari jumlah bagian yang terbatas. Menurut (Astuti et al. (2016) dan [12].

Dalam arsitektur, sistem modular sebenarnya telah ada sejak zaman dahulu, meskipun telah mengalami perkembangan besar hingga saat ini. Modul sebelumnya ditetapkan berdasarkan ukuran dan jarak antar kolom yang berlaku. Namun, karena berkembangnya industri bahan bangunan prefabrikasi yang membutuhkan koordinasi antara berbagai jenis material, modul sekarang menjadi sangat penting. Saat ini, pembangunan yang cepat dan efisien tetap diperlukan untuk mempertahankan nilai arsitektural, baik dari segi fungsi maupun estetika bangunan. Akibatnya, sistem penyelesaian bangunan praktis seperti koordinasi modular dapat membantu menghemat waktu, biaya, bahan, dan tenaga kerja. Sistem modular memungkinkan setiap komponen bangunan saling terintegrasi dalam ukuran yang didasarkan pada modul atau unit dimensi tertentu. Sistem ini mulai digunakan, terutama di kota-kota besar yang membutuhkan metode pembangunan yang lebih hemat biaya. Ini karena masih terbilang baru dalam perkembangan industri konstruksi dan belum diadopsi secara luas. Dengan mempertahankan kualitas dan kepraktisan, sistem modular menjawab tantangan pembangunan kontemporer. Teknologi Modular dalam Perancangan Arsitektur, oleh Kusumowardani, 2020

Sarana dan prasarana olahraga, menurut Aclubra (2016:11), mencakup seluruh fasilitas yang diperlukan untuk melaksanakan kegiatan olahraga, termasuk lapangan, bangunan olahraga, dan peralatan yang mendukung pelaksanaan program olahraga. Fasilitas yang memadai dan berkualitas tinggi sangat penting untuk kelancaran kegiatan olahraga. Tempat olahraga harus memenuhi standar tertentu, termasuk ruang yang cukup untuk memenuhi kebutuhan individu. Oleh karena itu, sarana dan prasarana olahraga sangat penting untuk mendukung program olahraga yang telah ditetapkan dan terdiri dari berbagai jenis peralatan dan tempat yang disiapkan. Menurut Hafiez Al Asad Tahun 2020,

3.1 Prinsip Dasar Arsitektur Modular

Dalam buku Arsitektur prefabrikasi karya Ryan E. Smith, Dasar dari Arsitektur prefabrikasi yaitu mencakup 3 hal (Smith 2011) yaitu : 1. Material Prefabrikasi (Seperti: beton, baja, kayu, petikemas dll) 2. Komponen Modular (Berupa: komponen struktural dan non struktural) 3. Sistem Struktur Prefabrikasi (Seperti: sistem precast, structure steel, MET, PPVC dan sistem modul peti kemas) [1].

1. Material prefabrikasi

Dalam proses konstruksi prefabrikasi, komponen bangunan dibuat di luar lokasi proyek (off-site) sebelum diangkut dan dirakit di lokasi proyek. Bahan-bahan prefabrikasi dipilih karena kemampuan mereka untuk diolah dalam sistem prefabrikasi dan memiliki kekuatan, ketahanan, dan kemudahan penggunaan.

2. Komponen modular

Komponen modular adalah istilah yang mengacu pada pendekatan desain dan konstruksi di mana elemen-elemen atau bagian-bagian bangunan, yang disebut modul, dibuat secara terpisah, biasanya di pabrik atau fasilitas fabrikasi, sebelum akhirnya dipasang dan dirakit di lokasi proyek. Setiap komponen modular dirancang untuk saling terhubung dengan sempurna, yang memungkinkan perakitan di lapangan yang cepat dan efektif.

Modul-modul ini dapat berupa dinding, lantai, atap, atau bahkan seluruh ruangan dengan infrastruktur dasar seperti pipa dan sistem kelistrikan. Karena sebagian besar pekerjaan konstruksi

dilakukan di luar lokasi, penggunaan komponen modular dapat mempersingkat waktu yang diperlukan untuk membangun sebuah bangunan. Komponen Struktural:

Komponen ini dapat berupa elemen struktural maupun non-struktural, seperti rangka, dinding, lantai, dan fasad. Komponen ini menahakan beban tegak, seperti beban bangunan sendiri, dan beban horizontal, seperti angin dan gempa.

a. Komponen non struktural

Komponen non-struktural ini memiliki peran yang sangat penting dalam meningkatkan estetika dan fungsionalitas suatu ruangan, meskipun mereka tidak berfungsi untuk menahan beban struktural pada bangunan. Elemen-elemen non-struktural ini dirancang untuk memberikan nilai tambah pada tampilan dan kenyamanan ruang tanpa mempengaruhi kestabilan atau kekuatan bangunan secara keseluruhan.

Sebagai contoh, material pelapis dinding, plafon, jendela, dan partisi ruang sering kali digunakan sebagai komponen non-struktural yang dapat memberikan sentuhan visual yang menarik, mempercantik interior, serta menciptakan suasana yang lebih nyaman dan menarik bagi penghuninya. Selain itu, elemen-elemen seperti pencahayaan, furnitur, dan aksesoris dekoratif juga termasuk dalam kategori komponen non-struktural, yang meningkatkan kenyamanan dan estetika ruangan, menciptakan atmosfer yang lebih hidup dan fungsional.

Sistem struktur prefabrikasi adalah metode atau teknik konstruksi yang menggunakan komponen prefabrikasi untuk membentuk struktur utama bangunan. Beberapa sistem prefabrikasi memanfaatkan berbagai teknik dan teknologi fabrikasi untuk membuat perakitan lebih mudah dan membuat konstruksi lebih efisien, dan beberapa juga membantu meningkatkan tingkat keberlanjutan dan pengurangan limbah.

1. Material prefabrikasi

Material prefabrikasi yang digunakan pada stadion Arena Da Baixada yang berada di Brasil ini adalah baja H beam, proses prefabrikasi disini yaitu baja/besi H beam yang di produksi di pabrik dan dirakit dilokasi pembangunan.



Gambar 1. Rangka Baja (sumber : stadiumdb.com)

2. Komponen modular

Komponen Modular pada bangunan stadion Arena Da Baixada ini terbagi menjadi 2, yaitu modular struktural dan modular non struktural, pada bangunan ini material yang digunakan berupa baja, oleh karena itu komponen-komponen pada bangunan ini bermaterial baja.

a. Komponen struktural

Komponen Struktural yang paling terlihat ialah rangka baja yang digunakan untuk menempatkan modul-modul ruang kontainer yang akan saling disambungkan satu sama lain.



Gambar 1. Struktur Baja h beam (sumber : stadiumdb.com)

b. Komponen non struktural

Komponen non struktural pada bangunan ini yaitu adalah material fasad, karena tidak terkait langsung pada struktur bangunan dan menjadi beban bagi elemen struktural



Gambar 2. Fasad Plat Besi Non Struktural (sumber : stadiumdb.com)

3. Sistem struktur fabrikasi

Bangunan Stadion Arena Da Baixada yang berada di Brasil ini menggunakan sistem modular dengan memakai material baja. Dan pada pondasi menggunakan tiang pancang

a. Sistem struktur bawah

Pada struktur bawah yaitu penyaluran beban menuju pondasi bangunan, pada sistem konstruksi baja, kolom menggunakan batang baja yang disekrup kebagian atas pondasi, pondasi yang digunakan ialah tiang pancang

b. Sistem struktur tengah

Sistem konstruksi baja menggunakan batang baja sebagai kolom dan balok, yang kemudian disambungkan menggunakan baut, dan struktur tengah dibentuk untuk modul plat besi untuk fasad



Gambar 3. Rangka h Beam (sumber : stadiumdb.com)

c. Sistem struktur atas

Struktur atap yang digunakan pada stadion Arena Da Baixada, Brasil ini yaitu rangka baja yang di desain lebih mengotak.

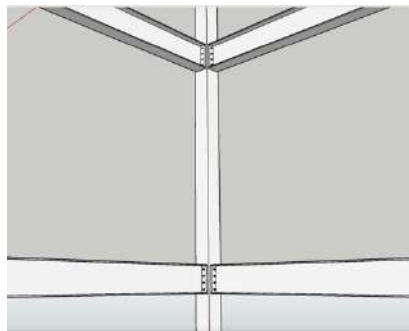


Gambar 4. Rangka Space Frame (sumber : stadiumdb.com)

3.2 Analisis

3.2.1 Material prefabrikasi

Material prefabrikasi yang digunakan dalam pembangunan Stadion Arena Da Baixada yang terletak di Brasil ini adalah baja H beam, yang dikenal karena kekuatannya yang tinggi serta kemampuannya untuk menahan beban berat. Baja H beam ini dipilih untuk membentuk rangka utama stadion, memberikan fondasi yang kokoh untuk struktur bangunan secara keseluruhan. Proses prefabrikasi pada proyek ini melibatkan produksi baja H beam yang dilakukan di pabrik, di mana setiap komponen baja diproduksi dengan presisi tinggi, mengikuti spesifikasi yang telah direncanakan oleh tim desain. Proses fabrikasi di pabrik ini memungkinkan pengendalian kualitas yang lebih baik, karena komponen-komponen tersebut dibuat dalam kondisi yang lebih terkendali, memastikan bahwa setiap elemen struktural memiliki ukuran dan kekuatan yang tepat.



Gambar 5. Sambungan Struktur Baja (sumber : digambar oleh penulis, 2024)

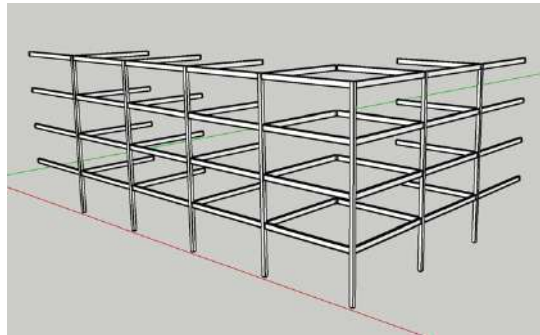
3.2.2 Komponen modular

Komponen modular prefabrikasi pada stadion ini terbagi menjadi 2 jenis, yang pertama ialah komponen struktural dan non struktural. Stadion Arena Da Baixada ini menggunakan material baja H beam/ Baja WF dan beton bertulang, oleh sebab itu komponen komponen baik struktural maupun non struktural berjenis baja WF dan beton bertulang.

1. Komponen struktural

Komponen struktural yang paling mencolok dan dominan dalam sebuah bangunan adalah frame baja atau rangka baja. Rangka baja ini berfungsi sebagai tulang punggung utama yang memberikan kekuatan dan stabilitas pada struktur bangunan. Rangka tersebut dirancang membentuk kotak-kotak yang sesuai dengan modul-modul tertentu, yang dirancang secara presisi untuk mendukung elemen-elemen lain dalam konstruksi. Modul-modul ini tidak hanya memberikan kerangka dasar bagi struktur, tetapi juga berfungsi sebagai titik tumpu untuk pemasangan material fasad. Material fasad ini kemudian dipasang pada rangka baja, menciptakan tampilan luar bangunan yang estetik sekaligus fungsional. Rangka baja juga berperan penting dalam mendistribusikan beban secara merata, memastikan bahwa bangunan

mampu menahan tekanan dan beban dari berbagai arah. Dengan demikian, frame baja menjadi komponen vital yang mendukung keseluruhan integritas dan keberlanjutan struktur bangunan.

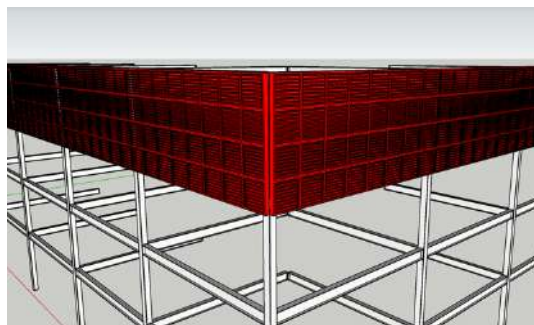


Gambar 6. Modul Frame Rangka Baja (sumber : digambar oleh penulis)

2. Komponen non struktural

Komponen non-struktural dalam bangunan ini meliputi material plat besi yang digunakan pada fasad dan tangga. Komponen ini disebut non-struktural karena tidak memiliki peran langsung dalam menopang atau mendukung struktur utama bangunan. Sebaliknya, elemen-elemen ini lebih berfungsi sebagai penambah estetika atau fitur fungsional tambahan yang melengkapi desain keseluruhan bangunan. Material plat besi pada fasad memberikan tampilan modern dan kokoh, sementara pada tangga, plat besi tersebut menambah elemen visual yang menarik serta memberikan permukaan yang kuat dan tahan lama untuk digunakan.

Meskipun tidak berkontribusi langsung terhadap kestabilan struktural bangunan, komponen non-struktural ini tetap memberikan beban tambahan yang harus ditanggung oleh elemen struktural utama. Oleh karena itu, dalam perencanaan dan desain, perlu diperhatikan bagaimana beban tambahan dari komponen non-struktural ini didistribusikan dan diserap oleh rangka struktural untuk memastikan keselamatan dan keandalan keseluruhan bangunan.



Gambar 7. Rangka Fasad (sumber: digambar oleh penulis, 2024)

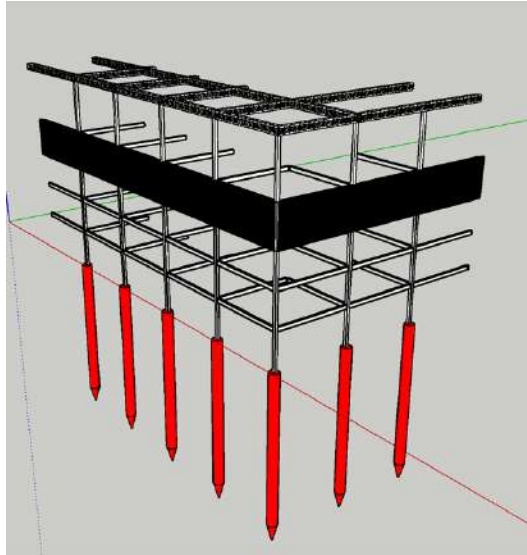
3.2.3 Sistem struktur fabrikasi

Bangunan Stadion Arena Da Baixada di Brazil ini dibangun menggunakan sistem modular yang inovatif. Elemen utama dari sistem ini adalah baja H beam atau baja WF (Wide Flange), yang memungkinkan pembangunan yang lebih cepat dan efisien karena bagian-bagian struktur dibuat di pabrik atau lokasi fabrikasi sebelum dikirim ke lokasi konstruksi. Struktur rangka baja WF dipilih karena kekuatan dan kemampuan untuk menahan beban yang signifikan, baik dari berat bangunan sendiri maupun dari tekanan dari sumber luar seperti angin dan gempa. Stadion ini menggunakan tiang pancang untuk pondasi, yang dirancang untuk memberikan dukungan yang kuat dan stabil pada bangunan secara keseluruhan, terutama mengingat ukuran dan kapasitas stadion.

1. Sistem struktur bawah

Pada struktur bawah bangunan, yang berfungsi sebagai penyalur beban menuju pondasi, sistem konstruksi baja memainkan peran penting dalam memastikan kestabilan dan kekuatan bangunan. Dalam sistem ini, kolom-kolom yang terbuat dari batang baja dirancang untuk menyalurkan beban dari struktur atas ke pondasi.

Kolom-kolom baja tersebut disekrupkan dengan presisi ke bagian atas pondasi, menciptakan sambungan yang kuat dan stabil. Pondasi yang digunakan dalam konstruksi ini adalah tiang pancang, yang terkenal karena kemampuannya dalam menahan beban berat serta mendistribusikannya secara merata ke dalam tanah. Tiang pancang ini sangat efektif untuk memastikan bahwa bangunan tetap kokoh, terutama pada jenis tanah yang kurang stabil atau memiliki daya dukung rendah.



Gambar 8. Pondasi Tiang Pancang (sumber : digambar oleh penulis, 2024)

2. Sistem struktur tengah

Struktur tengah stadion ini terdiri dari komponen penting yang mencakup struktur vertikal dan horizontal. Struktur vertikal terutama terdiri dari kolom-kolom yang terbuat dari baja berkualitas tinggi yang berfungsi untuk menopang dan membentuk modul-modul yang mendukung pemasangan plat besi pada fasad stadion. Kolom-kolom ini sangat penting untuk mendukung beban vertikal dan memastikan stabilitas struktural bangunan. Setiap kolom dimaksudkan untuk mengalirkan beban ke pondasi dari tingkat tertinggi bangunan. Beban tersebut kemudian diteruskan ke tanah melalui sistem tiang pancang.

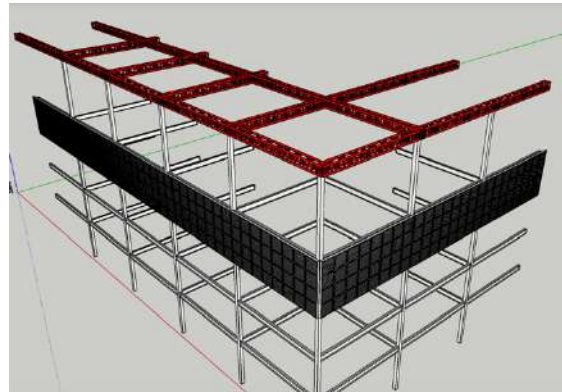
Struktur vertikal yang terdiri dari kolom baja ini berlanjut hingga mencapai struktur atap stadion. Di setiap lantai, setiap kolom terhubung dengan sambungan khusus, yang memungkinkan beban disalurkan secara efektif dari atas ke bawah.



Gambar 9. Struktur Tengah (sumber : digambar oleh penulis, 2024)

3. Sistem struktur atas

Struktur atap Stadion Arena Da Baixada terdiri dari rangka baja space frame yang dirancang untuk meningkatkan kekuatan dan fleksibilitas. Struktur tiga dimensi ini dibangun dengan pola persegi horizontal, yang membentuk jaringan yang sangat kuat dan efisien dalam distribusi beban. Selain memberikan kekuatan struktural, desain space frame ini memungkinkan beban didistribusikan secara merata ke seluruh komponen struktural lainnya, seperti kolom baja yang mendukungnya di bawahnya.



Gambar 10. Struktur Atas (sumber : digambar oleh penulis, 2024)

4. KESIMPULAN

Analisis ini menemukan bahwa sistem konstruksi yang efisien yang menggunakan teknologi prefabrikasi dan modular digunakan saat membangun Stadion Arena Da Baixada di Brasil. Material prefabrikasi seperti H-beam steel dibuat dan dirakit di lokasi konstruksi, sehingga mengurangi waktu konstruksi dan meningkatkan kualitas struktural bangunan. Stadion ini menggunakan komponen modular dari dua kategori utama: komponen struktural dan non-struktural. Komponen struktural, seperti rangka baja yang membentuk modul fasad, memberikan kekuatan dan stabilitas, sementara komponen non-struktural, seperti plat besi di tangga dan fasad, hanya menambah estetika tanpa menahan beban struktural.

Stadion ini menggunakan pilar H dan tiang pancang sebagai komponen utama sistem struktur prefabrikasi. Pondasi menggunakan tiang pancang yang dipasang langsung di lokasi. Di sisi lain, struktur tengah dan atas terdiri dari kolom baja yang terhubung ke rangka atap space frame. Penggunaan rangka space frame baja ini pada atap meningkatkan fleksibilitas dan kekuatan bangunan dan memastikan bahwa struktur secara keseluruhan stabil. Pendekatan modular dan prefabrikasi ini memungkinkan pembangunan Stadion Arena Da Baixada dengan lebih cepat, lebih efisien, dan dengan kontrol kualitas yang lebih baik sambil tetap mempertahankan fungsionalitas dan tampilan bangunan.

REFERENSI

- [1] C. Zhang, Y. Hu, and Q. Zhang, "Modular design and construction strategies for sustainable sports venues," *Sustainable Cities and Society*, vol. 63, pp. 102446, 2020, doi: 10.1016/j.scs.2020.102446.
- [2] A. Gibb and M. Pendlebury, "Off-site fabrication: Prefabrication, pre-assembly and modularisation," *Construction Management and Economics*, vol. 24, no. 3, pp. 289–299, 2021, doi: 10.1080/01446190500040045.
- [3] J. Wilkinson and J. Reed, "Legacy and sustainability in sports facilities post-major events," *Journal of Urban Design*, vol. 27, no. 1, pp. 82–97, 2022, doi: 10.1080/13574809.2021.1939713.
- [4] T. Ding, H. Zhou, and L. Liu, "Life cycle carbon emission and cost analysis of prefabricated sports buildings," *Journal of Cleaner Production*, vol. 315, pp. 128136, 2021, doi: 10.1016/j.jclepro.2021.128136.

- [5] M. Khasreen, M. G. Banfill, and G. Menzies, "Life-cycle assessment and the environmental impact of buildings: A review," *Sustainability*, vol. 1, no. 3, pp. 674–701, 2020, doi: 10.3390/su1030674.
- [6] N. Jaillon and C. S. Poon, "The evolution of prefabricated residential building systems in Hong Kong: A review of practices, research and development," *Automation in Construction*, vol. 18, no. 3, pp. 239–248, 2021, doi: 10.1016/j.autcon.2020.09.011.
- [7] S. Lawson, "Design and construction of modular buildings," *Structural Engineer*, vol. 90, no. 6, pp. 12–20, 2021.
- [8] M. H. Li, R. L. Smith, and J. Wu, "Sustainable modular building design for multi-use sports arenas," *Buildings*, vol. 11, no. 4, pp. 167, 2021, doi: 10.3390/buildings11040167.
- [9] Y. Gao and P. Wang, "Temporary stadium design using modular systems for Olympic events," *Procedia Engineering*, vol. 180, pp. 668–677, 2022, doi: 10.1016/j.proeng.2022.11.110.
- [10] R. Goodier and A. Gibb, "Barriers and opportunities for offsite in the UK," *Construction Innovation*, vol. 7, no. 2, pp. 166–178, 2020, doi: 10.1108/14714170710738356.
- [11] Melati, P., Pinassang, J. L., & Suwarlan, S. A. (2024). Analisis hunian vertikal dengan konsep arsitektur modular sebagai solusi keterbatasan lahan di Kota Batam. *Journal of Architectural Design and Development*, 5(1), 89-99. <https://doi.org/10.37253/jad.v5i1.9283>
- [12] Putri, S. P. S., & Purwantiasning, A. W. (2021). Kajian konsep arsitektur modular pada rumah susun ITB Jatinangor. *Nature: National Academic Journal of Architecture*, 8(1), 30-40. <https://doi.org/10.2242172>