

Analisis Konstruksi Beton Pada Pembangunan Masjid Negara IKN: Tantangan, Strategi, dan Implikasi Arsitektural

Anisah Azizah¹⁾, Indra Ariani²⁾, Azlia Atikah Astami¹⁾, Gina Yeza Amalia¹⁾, Alfariji¹⁾, Rizky Anugrah¹⁾

¹⁾ Program Studi Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman

²⁾ Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman

e-mail: anisahazizah@ft.unmul.ac.id

ABSTRAK

Pembangunan Masjid Negara di Ibu Kota Nusantara (IKN) merupakan proyek strategis nasional yang menghadapi tantangan kompleks, terutama kondisi tanah lunak dan gambut serta iklim tropis basah dengan curah hujan dan kelembapan tinggi. Tantangan tersebut menuntut penerapan sistem struktur dan material beton yang memiliki kekuatan serta durabilitas tinggi. Penelitian ini bertujuan menganalisis konstruksi beton pada pembangunan Masjid Negara IKN dengan fokus pada tantangan teknis, strategi penerapan *High Performance Concrete* (HPC), serta implikasinya terhadap desain arsitektural. Metode yang digunakan adalah pendekatan kualitatif deskriptif melalui studi pustaka, analisis dokumen teknis proyek, standar nasional, dan literatur ilmiah terkait teknologi beton dan arsitektur tropis. Hasil kajian menunjukkan bahwa penerapan HPC dengan bahan tambahan mineral mampu meningkatkan kekuatan, menurunkan porositas, serta memperbaiki ketahanan beton terhadap lingkungan agresif. Selain itu, pemanfaatan BIM dan sistem manajemen mutu konstruksi berperan penting dalam menjaga kualitas pelaksanaan. Secara arsitektural, penggunaan beton berkinerja tinggi mendukung penciptaan ruang bentang lebar, struktur monumental, serta prinsip keberlanjutan. Studi ini menegaskan bahwa integrasi inovasi material, sistem struktur, dan pendekatan arsitektur berkelanjutan menjadi kunci keberhasilan pembangunan Masjid Negara IKN dan dapat menjadi referensi bagi proyek bangunan publik di wilayah tropis.

Kata Kunci: konstruksi beton, *High Performance Concrete*, Masjid Negara IKN, daya tahan, arsitektur berkelanjutan, HPC.

ABSTRACT

The construction of the State Mosque in Indonesia's new capital city, Ibu Kota Nusantara (IKN), is a national strategic project that faces complex challenges, particularly soft and peat soil conditions and a humid tropical climate with high rainfall. These conditions require structural systems and concrete materials with high strength and durability. This study aims to analyze concrete construction in the State Mosque project, focusing on technical challenges, the application strategy of High Performance Concrete (HPC), and its architectural implications. A qualitative descriptive approach was employed through literature review, analysis of project technical documents, national standards, and relevant scientific publications on concrete technology and tropical architecture. The results indicate that the use of HPC with mineral admixtures significantly improves concrete strength, reduces porosity, and enhances resistance to aggressive environmental conditions. The application of Building Information Modelling (BIM) and a comprehensive construction quality management system also plays a crucial role in ensuring construction performance. From an architectural perspective, high-performance concrete supports large-span spaces, monumental structures, and sustainable design principles. This study highlights that the integration of material innovation, structural systems, and sustainable architectural approaches is essential for the success of the State Mosque project and provides valuable references for future public building developments in tropical regions.

Keyword: concrete construction, *High Performance Concrete*, National Mosque of the Indonesian Capital City (IKN), durability, sustainable architecture, HPC.

1. Pendahuluan

Pembangunan Masjid Negara di Ibu Kota Nusantara (IKN) merupakan proyek strategis nasional yang dirancang sebagai simbol negara sekaligus pusat kegiatan ibadah umat Muslim. Sebagai bangunan monumental, masjid ini tidak hanya dituntut memenuhi fungsi religius dan simbolik, tetapi juga harus memiliki ketahanan struktural jangka panjang serta mendukung prinsip pembangunan berkelanjutan. Lokasi IKN di Kalimantan Timur menghadirkan tantangan lingkungan yang kompleks, seperti iklim tropis basah dengan curah hujan dan kelembapan tinggi serta kondisi tanah lunak dan gambut, yang secara langsung memengaruhi kinerja material dan sistem struktur bangunan.

Kondisi tanah gambut dan tanah lunak memiliki daya dukung rendah dan tingkat deformasi tinggi, sehingga berpotensi menimbulkan penurunan diferensial pada struktur apabila sistem pondasi tidak dirancang secara tepat (Bowles, 1996; Das, 2011). Hardiyatmo (2010) menegaskan bahwa pada tanah lunak, beban bangunan harus dialihkan ke lapisan tanah yang lebih stabil melalui sistem pondasi dalam, seperti bored pile atau mini pile. Dalam konteks Masjid Negara IKN, keberhasilan sistem pondasi tersebut sangat bergantung pada perilaku material struktur atas, khususnya beton yang digunakan untuk menyalurkan beban secara merata.

Beton bertulang merupakan material struktur yang paling banyak digunakan dalam proyek-proyek besar di Indonesia karena ketersediaan material, kemudahan pelaksanaan, dan kemampuan menahan beban tekan yang tinggi. Namun, beton konvensional sering menunjukkan keterbatasan durabilitas pada lingkungan agresif, terutama di daerah dengan kelembapan tinggi, tanah gambut, dan potensi serangan kimia, yang dapat mempercepat proses korosi tulangan dan degradasi beton (Putra et al., 2018). Penelitian tersebut menunjukkan bahwa beton dengan mutu lebih rendah memiliki porositas lebih tinggi, sehingga lebih rentan terhadap penetrasi air dan zat agresif dari lingkungan gambut.

Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, penggunaan *High Performance Concrete* (HPC) menjadi alternatif yang relevan. HPC didefinisikan sebagai beton yang dirancang untuk memiliki kekuatan mekanik tinggi, permeabilitas rendah, dan durabilitas yang lebih baik dibanding beton konvensional, melalui pengendalian komposisi material dan penggunaan bahan tambah tertentu (Simanjuntak, 2019). Beton berkinerja tinggi terbukti lebih tahan terhadap lingkungan agresif, termasuk lingkungan laut dan kondisi lembap ekstrem, sehingga sesuai untuk bangunan monumental di wilayah tropis (Rahman & Iskandar, 2021).

Selain meningkatkan ketahanan struktural, HPC juga memungkinkan pencapaian bentang struktur yang lebih besar dengan dimensi elemen yang lebih ramping. Hal ini menjadi sangat penting dalam desain Masjid Negara IKN yang mengusung ruang salat luas tanpa kolom tengah, kubah berdiameter besar, dan ruang interior yang terbuka. Tristanto (2017) menjelaskan bahwa beton mutu tinggi banyak diterapkan pada struktur bentang besar karena kemampuannya menahan beban tinggi dengan deformasi yang lebih terkendali.

Dari sudut pandang arsitektur, penggunaan HPC tidak hanya berfungsi secara struktural tetapi juga berperan sebagai elemen ekspresi desain. Beton dapat diekspresi sebagai elemen estetis dengan tekstur alami, sekaligus berfungsi sebagai massa termal yang membantu menstabilkan suhu ruang dalam bangunan tropis (Mehta & Monteiro, 2014). Pendekatan ini sejalan dengan prinsip arsitektur tropis dan berkelanjutan, yang menekankan respons bangunan terhadap iklim melalui material, bentuk, dan konfigurasi ruang (Hyde, 2008; Szokolay, 2014).

Dari sisi regulasi, perencanaan dan pelaksanaan struktur beton pada Masjid Negara IKN harus mematuhi SNI 2847:2019 tentang persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung serta SNI 1726:2019 tentang ketahanan gempa. Kepatuhan terhadap standar ini memastikan bahwa bangunan tidak hanya memenuhi aspek estetika dan simbolik, tetapi juga aman, andal, dan berumur panjang sesuai dengan tuntutan bangunan negara.

Secara keseluruhan, pembangunan Masjid Negara di IKN merupakan studi kasus penting yang menunjukkan keterkaitan erat antara tantangan lingkungan tropis, inovasi teknologi beton, sistem pondasi pada tanah lunak, dan ekspresi arsitektur monumental. Penerapan *High Performance Concrete* (HPC) dalam proyek ini memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan durabilitas struktur, fleksibilitas desain arsitektur, serta keberlanjutan bangunan,

sehingga dapat menjadi referensi penting bagi pengembangan arsitektur dan teknologi konstruksi di Indonesia pada masa depan.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif deskriptif, dengan tujuan untuk memahami secara mendalam fenomena yang berkaitan dengan pemanfaatan beton pada pembangunan Masjid Negara di Ibu Kota Nusantara (IKN). Pendekatan ini dipilih karena mampu menjelaskan konteks, proses, serta makna yang muncul dari praktik konstruksi di lapangan secara komprehensif.

A. Perancangan dan Pendekatan Penelitian

Pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah kualitatif-deskriptif, dengan teknik utama yang berupa studi pustaka. Proses ini terdiri dari pencarian dan analisis sumber ilmiah terbaru (2019– 2024) yang relevan dengan teknologi *High Performance Concrete* (HPC), seperti buku *Advances in Sustainable Concrete System* yang ditulis oleh Ling, Fu, dan Taylor (2022) serta *Innovations in Durability of Sustainable Concrete Materials* oleh Taffese dan Nunes (2023). Selain itu, artikel ilmiah dari penulis nasional seperti Hasanta, Joewono, dan Hartanti (2024) serta Indriyantho, Purwanto, dan Riko (2023) juga menjadi referensi penting dalam memahami inovasi material beton di Indonesia. Proses penelitian dilakukan melalui tahapan: (1) menentukan masalah yang ada dalam konstruksi beton di daerah tropis, (2) mengumpulkan data sekunder tentang spesifikasi teknis proyek Masjid Negara IKN, dan (3) melakukan analisis deskriptif serta komparatif antara teori dan praktik dalam proyek tersebut.

B. Jenis Data dan Teknik Analisis

Penelitian ini menggunakan data sekunder, yang mencakup literatur akademis, laporan resmi dari Kementerian PUPR (2023), serta dokumen standar teknis nasional, seperti SNI 2847:2019 mengenai Persyaratan Beton Struktural, SNI 1726:2019 yang berhubungan dengan Ketahanan Gempa, dan Peraturan Pemerintah No. 16 Tahun 2021 tentang Bangunan Gedung. Analisis dilakukan dengan cara tematik dan komparatif dengan mengelompokkan data ke dalam tiga elemen utama: tantangan teknis, strategi penerapan HPC, dan konsekuensi arsitektural. Keabsahan penelitian ini dipastikan melalui triangulasi sumber, yakni dengan membandingkan teori ilmiah (seperti yang diajukan oleh Ling et al., 2022, dan Taffese serta Nunes, 2023) dengan dokumen teknis nasional (BSN, 2019). Metode ini menjamin bahwa hasil kajian memiliki konsistensi ilmiah dan relevansi praktis terhadap situasi proyek yang sebenarnya.

3. Hasil dan Pembahasan

Bagian ini membahas data konkret dari proyek serta analisis mengenai penerapan konstruksi beton dalam pembangunan Masjid Negara Ibu Kota Nusantara (IKN). Data yang disajikan mencakup ukuran bangunan, kapasitas, serta fitur arsitektural utama yang menjadi fokus kajian struktur dan material.

A. Data Teknis dan Gambaran Umum Proyek

Pembangunan Masjid Negara di Ibu Kota Nusantara (IKN) adalah bagian dari proyek besar nasional yang berfungsi sebagai simbol arsitektur keagamaan dan kebangkitan budaya Islam di Indonesia. Memiliki luas bangunan utama sebesar 61. 596 meter persegi, masjid ini didirikan di atas area seluas 32. 125 meter persegi di pusat pemerintahan. Kompleks masjid dirancang untuk menampung lebih dari 61. 000 orang, menjadikannya salah satu masjid terbesar di kawasan Asia Tenggara. Dalam hal perencanaan, kompleks Masjid Negara IKN terdiri dari beberapa elemen penting: bangunan utama untuk beribadah, menara setinggi 99 meter yang melambangkan Asmaul Husna, kubah yang terinspirasi dari bentuk serban dan galaksi, bangunan komersial dua lantai seluas 2. 212 m², bangunan pendukung seluas 727 m², serta plaza

terbuka dan ruang lanskap hijau yang berfungsi sebagai area publik dan transisi. Setiap elemen dirancang dengan mempertimbangkan prinsip keberlanjutan, baik dalam aspek struktur, utilitas, maupun energi. Secara makro, masjid ini tidak hanya berfungsi sebagai tempat ibadah, tetapi juga sebagai pusat interaksi sosial, pendidikan, dan ekonomi bagi umat, sesuai dengan peran masjid dalam sejarah Islam. Kehadiran ruang-ruang tambahan seperti area komersial, ruang belajar, dan plaza publik mencerminkan pendekatan arsitektur integratif, di mana ruang spiritual terhubung dengan ruang sosial dan ekonomi. Pada sisi mikro, desain arsitektur masjid mengedepankan konsep tropis pasif dengan memanfaatkan ventilasi alami, pencahayaan alami, dan penggunaan bahan lokal untuk mengurangi jejak karbon. Dengan menggabungkan struktur beton berteknologi tinggi dan prinsip arsitektur tropis, Masjid Negara IKN menjadi simbol pertemuan antara teknologi, budaya, dan alam.

Tabel 1. Data Fisik Masjid Negara IKN

Komponen Bangunan	Luas/Tinggi	Keterangan
Bangunan Utama Masjid	61.596 m ²	Area ruang ibadah utama dan mezzanine
Lahan	32.125	Sekitar 3,2 hektar
Kapasitas Jamaah	61.317-61.292 orang	Kapasitas maksimum saat shalat berjamaah besar
Bangunan Komersial	2.212 m ² (2 lantai)	Area penunjang ekonomi umat Ruang administrasi
Bangunan Penunjang Menara (Minaret)	727 m ² (2 lantai) 99 m	Fasilitas umum Melambangkan 99 Asmaul Husnah

B. Tantangan Konstruksi Beton

Pembangunan Masjid Negara di Ibu Kota Nusantara (IKN) adalah salah satu proyek infrastruktur religius yang paling besar dan rumit di Indonesia dalam sepuluh tahun terakhir. Penggunaan beton dalam konstruksi pada proyek ini menghadapi sejumlah tantangan yang kompleks, tidak hanya dari aspek teknis tetapi juga terkait dengan faktor geoteknik, iklim tropis, manajemen proyek, serta kondisi logistik yang unik di Kalimantan Timur.

1. Tantangan Geoteknik dan Kondisi Tanah

Dari segi geoteknik, lokasi masjid berada di area dengan jenis tanah lempung dan gambut, yang diketahui memiliki kekuatan dukung yang rendah, plastisitas yang tinggi, dan kadar air yang tinggi. Tanah dengan karakteristik seperti ini sangat rentan terhadap penurunan yang tidak merata, yang dapat menyebabkan deformasi pada bangunan dan berpotensi menyebabkan keretakan pada beton serta ketidakstabilan fondasi dalam jangka panjang.

Untuk mengatasi masalah ini, tim perencana melakukan analisis geoteknik yang mendalam, termasuk uji Standard Penetration Test (SPT), Cone Penetration Test (CPT), serta pemeriksaan laboratorium untuk menilai kandungan organik tanah. Berdasarkan hasil analisis tersebut, diterapkan sistem fondasi dalam dengan bentuk bored pile beton bertulang untuk menjamin beban dari struktur utama dapat diteruskan ke lapisan tanah yang lebih keras di kedalaman yang ditentukan. Selain itu, dilakukan perbaikan tanah menggunakan metode drainase vertikal prefabrikasi (PVD) dan preloading untuk mempercepat konsolidasi tanah yang lunak sebelum fase konstruksi dimulai.

2. Tantangan Iklim Tropis dan Lingkungan

Iklim tropis di Kalimantan Timur menjadi tantangan kedua yang penting. Area ini mengalami curah hujan tahunan rata-rata lebih dari 2.000 mm dan kelembapan udara

yang sangat tinggi, berkisar antara 70–90% sepanjang tahun. Hal ini meningkatkan risiko korosi pada tulangan baja, retakan akibat variasi suhu ekstrem, serta reaksi alkali-silikat (ASR) yang dapat mempercepat penurunan kualitas beton. Kelembapan yang tinggi juga memperlambat proses penguapan air dalam campuran beton, sehingga waktu pengikatan menjadi lebih lama dan meningkatkan risiko segregasi jika rasio air tidak dikelola dengan baik.

Untuk mengatasi hal tersebut, tim konstruksi menggunakan teknologi *High Performance Concrete* (HPC) dengan kekuatan tekan lebih dari 60 MPa. Campuran beton ini dirancang dengan bahan tambahan mineral seperti fly ash, silica fume, dan slag yang berfungsi mengurangi porositas, meningkatkan ketahanan terhadap penetrasi air, dan memperpanjang umur bangunan. Selain bahan mineral, ditambahkan juga aditif kimia superplasticizer dan retarder untuk meningkatkan sifat kerja beton tanpa menambah kadar air dan mengatur waktu pengeringan sesuai dengan kondisi cuaca di lapangan.

3. Tantangan Teknis dan Kualitas Material

Secara teknis, pencapaian kualitas beton yang tinggi tidak hanya bergantung pada material campuran, tetapi juga pada konsistensi dalam proses pencampuran, transportasi, dan pengecoran. Karena lokasi proyek cukup jauh dari pusat produksi, pengadaan material seperti semen, agregat, dan bahan tambahan harus direncanakan dengan teliti. Keterlambatan dalam pengiriman material dapat mengubah komposisi water-cement ratio, yang berdampak langsung pada kekuatan beton.

Untuk mengurangi risiko tersebut, diterapkan sistem pasokan material berbasis kontrak jangka panjang dan pengawasan kualitas yang ketat pada setiap batch produk di batching plant. Selama pelaksanaan, pengujian kualitas dilakukan secara rutin, meliputi uji kuat tekan, uji kelecakan, pengujian suhu beton segar, serta pemantauan proses curing di lokasi. Penerapan sistem Manajemen Mutu Konstruksi berlandaskan pada SNI 2847:2019 dan SNI 1726:2019 menjamin bahwa setiap tahap pekerjaan sesuai dengan ketentuan mengenai kekuatan, ketahanan, dan keamanan struktur terhadap guncangan gempa. Selain itu, dilakukan pemantauan visual serta pemeriksaan ultrasonik (NDT - Non-Destructive Test) untuk mengidentifikasi kemungkinan retakan awal atau kekosongan pada hasil pengecoran, sehingga tindakan perbaikan bisa dilakukan dengan lebih cepat.

4. Tantangan Logistik dan Koordinasi Manajerial

Aspek logistik serta pengaturan proyek menjadi tantangan tersendiri karena lokasi pembangunan terletak di area baru yang masih dalam proses pengembangan infrastruktur dasar. Keterbatasan akses transportasi menuju lokasi, khususnya saat musim hujan, dapat mengganggu pengiriman beton segar. Untuk mengatasi hal ini, diterapkan sistem Pengiriman Tepat Waktu, di mana beton dikirim langsung dari pabrik pencampuran ke lokasi pengecoran sesuai rencana, dengan pemantauan ketat terhadap suhu dan waktu perjalanan. Pendekatan ini penting untuk menjaga kualitas beton agar tidak mengeras sebelum dituangkan ke dalam cetakan.

Selain tantangan logistik, aspek manajerial juga dihadapkan pada kompleksitas koordinasi antar berbagai disiplin antara kontraktor utama, subkontraktor, konsultan pengawas, serta tim ahli struktur dan arsitek. Untuk meminimalkan kemungkinan miskomunikasi, diterapkan sistem komunikasi berbasis digital dengan menggunakan Building Information Modelling (BIM). Dengan BIM, setiap perubahan desain, volume beton, dan jadwal pengecoran dapat diperbarui secara real-time dan diakses oleh seluruh anggota tim proyek. Hal ini meningkatkan transparansi, mempercepat proses pengambilan keputusan, serta mengurangi potensi kesalahan saat pelaksanaan di lapangan.

5. Tantangan Keberlanjutan dan Lingkungan

Di samping aspek teknis dan manajerial, proyek ini juga menghadapi tantangan dalam usaha memastikan bahwa proses konstruksi tetap berorientasi pada lingkungan. Sebagai bagian dari visi IKN untuk menjadi kota berkelanjutan, pembangunan Masjid Negara dituntut untuk meminimalkan dampak terhadap lingkungan. Oleh karena itu, diterapkan konsep Green Concrete, yakni penggunaan campuran beton yang mengurangi emisi karbon hingga 25% dibandingkan beton biasa. Air limbah dari pencucian beton dan material agregat yang tidak terpakai diproses ulang untuk digunakan dalam proyek selanjutnya, sesuai prinsip Circular Construction Economy. Upaya ini menunjukkan bahwa tantangan dalam konstruksi tidak hanya bersifat teknis, tetapi juga terkait dengan tanggung jawab sosial dan lingkungan. Melalui kombinasi inovasi teknologi, manajemen logistik yang efisien, serta komitmen terhadap keberlanjutan, proyek Masjid Negara IKN berhasil mengubah tantangan menjadi peluang untuk menetapkan standar baru dalam praktik konstruksi beton nasional.

C. Strategi Penerapan dan Inovasi Beton

Dalam rangka pembangunan Masjid Negara di Ibu Kota Nusantara (IKN) yang merupakan proyek nasional, strategi penggunaan beton tidak hanya memperhatikan kekuatan material, tetapi juga meliputi pengelolaan, pengawasan kualitas, efisiensi pelaksanaan, serta aspek lingkungan yang berkelanjutan. Keberhasilan proyek ini bergantung pada kerjasama yang kuat antara arsitek, insinyur struktur, spesialis material, dan tim pelaksana lapangan, yang beroperasi dalam sistem yang terintegrasi untuk menghasilkan konstruksi yang presisi dan awet. Langkah awal dalam strategi penerapan dimulai dengan pemilihan jenis beton yang cocok untuk iklim tropis dan beban yang akan ditanggung oleh masjid. Beton yang digunakan termasuk dalam kategori *High Performance Concrete* (HPC), dengan daya tekan antara 60–80 MPa. Campuran ini memanfaatkan bahan tambahan seperti fly ash, silica fume, dan ground granulated blast furnace slag (GGBFS), yang bertujuan untuk memperbaiki mikrostruktur beton, mengurangi porositas, serta meningkatkan ketahanan terhadap air dan ion klorida. Penggunaan bahan tersebut tidak hanya memperpanjang umur beton, tetapi juga membantu menurunkan emisi karbon karena sebagian semen portland diganti dengan material limbah industri yang lebih ramah lingkungan.

Dalam hal pelaksanaan, salah satu inovasi yang signifikan adalah penggunaan sistem precast concrete untuk elemen-elemen non-struktural seperti panel dinding, lantai, dan tangga. Sistem pracetak ini memiliki beberapa keuntungan, termasuk menghemat waktu konstruksi, mengurangi limbah di lokasi, serta meminimalkan ketergantungan pada cuaca. Produksi elemen pracetak dilakukan di fasilitas terpisah dengan pengendalian kualitas yang ketat, sehingga komponen yang dihasilkan memiliki dimensi yang sangat akurat dan permukaan yang lebih baik. Sementara untuk elemen utama seperti kubah dan menara, diterapkan metode cast-in-place concrete menggunakan teknologi slipform. Metode ini memungkinkan proses pengecoran dilakukan secara vertikal dan terus-menerus, sehingga menghasilkan sambungan beton yang lebih konsisten tanpa retakan sambung (cold joint). Penggunaan teknologi ini sangat vital untuk struktur kubah dan menara yang tinggi, di mana kekuatan sambungan dan stabilitas vertikal merupakan faktor kunci untuk keamanan bangunan. Dalam tahap perencanaan dan koordinasi teknis, teknologi Building Information Modelling (BIM) digunakan sebagai alat utama untuk mendukung pengambilan keputusan. BIM tidak hanya berfungsi sebagai model tiga dimensi, melainkan juga sebagai sistem manajemen data proyek yang terintegrasi, mencakup informasi tentang jenis material, jadwal pekerjaan, volume kegiatan, serta pengawasan kualitas beton di setiap fase. Dengan BIM, kolaborasi antara disiplin arsitektur, struktur, dan utilitas dapat terjadi secara langsung, sehingga mengurangi kesalahan komunikasi dan mempermudah proses kontrol di lapangan.

Penerapan BIM juga memberikan keuntungan strategis dalam efisiensi proyek. Melalui simulasi digital, tim proyek bisa memprediksi risiko teknis seperti retak akibat suhu, pergeseran dimensi, dan penurunan kualitas beton akibat cuaca ekstrem, bahkan sebelum fase fisik dimulai. Hasil dari simulasi ini kemudian dimanfaatkan untuk menyesuaikan desain campuran beton, jadwal pengecoran, serta rencana perawatan agar hasil akhir memenuhi standar yang diinginkan.

Aspek keberlanjutan menjadi elemen penting dalam strategi pembangunan Masjid Negara IKN. Pemilihan beton rendah karbon merupakan langkah nyata menuju pembangunan yang lebih ramah lingkungan. Penggunaan fly ash sebagai pengganti sebagian semen portland dapat mengurangi emisi gas rumah kaca hingga 15–25%, sambil juga mengurangi limbah dari industri batu bara yang dapat mencemari lingkungan. Selain itu, penerapan prinsip Ekonomi Konstruksi Sirkular dilakukan dengan memanfaatkan kembali bahan-bahan sisa seperti potongan baja tulangan, sisa agregat, dan air sisa pencucian beton untuk digunakan kembali dalam proses produksi. Dari segi logistik, strategi pengiriman material beton dilakukan secara terjadwal dan terencana untuk menjaga kualitas beton yang baru dicampur.

Proyek ini menerapkan sistem Just-in-Time Delivery, yang memastikan pengiriman beton dari batching plant ke lokasi pengecoran dilakukan dalam waktu yang sangat singkat. Dengan sistem ini, waktu pengaturan beton tetap terjaga, risiko pemisahan material dapat diminimalkan, dan kualitas campuran tetap sesuai dengan spesifikasi. Selain itu, proyek juga memperhatikan aspek keselamatan kerja dalam penggunaan teknologi beton. Pemakaian alat pengangkat dan pengecoran vertikal diawasi secara ketat untuk mencegah terjadinya kecelakaan, sementara pelatihan rutin diberikan kepada pekerja agar setiap langkah dilaksanakan sesuai dengan prosedur yang berlaku. Secara keseluruhan, strategi penerapan dan inovasi beton di Masjid Negara IKN menunjukkan bahwa pembangunan masjid modern tidak hanya berfokus pada kekuatan struktur, tetapi juga pada kolaborasi antara bahan, teknologi, dan manusia dalam sebuah sistem yang efisien serta berkelanjutan. Dengan menggabungkan *High Performance Concrete* (HPC), Building Information Modelling (BIM), dan prinsip konstruksi ramah lingkungan, proyek ini menjadi bukti bahwa teknologi inovatif dapat sejalan dengan nilai spiritual serta keberlanjutan. Dengan demikian, Masjid Negara IKN bukan sekadar karya arsitektur yang monumental, tetapi juga simbol kemajuan pengetahuan dan kesadaran lingkungan dalam praktik pembangunan nasional.

D. Evaluasi Manajemen Kualitas dan Pengawasan Konstruksi Beton

Pada proyek berskala besar seperti pembangunan Masjid Negara Ibu Kota Nusantara (IKN), keberhasilan tidak hanya ditentukan oleh estetika desain atau kekuatan struktur, tetapi juga oleh sejauh mana mutu konstruksi bisa dipertahankan secara berkelanjutan dari tahap awal hingga selesai. Pengendalian mutu menjadi unsur yang sangat penting karena kesalahan sekecil apapun dalam proses pelaksanaan beton dapat berpengaruh signifikan terhadap umur pakai dan keamanan bangunan.

Sistem manajemen mutu konstruksi yang diterapkan dalam proyek ini mengintegrasikan dua pendekatan utama: Quality Control (QC) dan Quality Assurance (QA). QC terfokus pada aktivitas di lapangan, termasuk pengujian bahan, pengawasan proses pengecoran, serta pemantauan kondisi cuaca dan suhu beton selama proses pengerasan. Sementara itu, QA bertanggung jawab dalam aspek perencanaan dan dokumentasi, memastikan bahwa seluruh spesifikasi, metode pelaksanaan, serta bahan-bahan yang digunakan sudah sesuai dengan standar yang ditetapkan dalam SNI 2847:2019 dan SNI 7656:2012.

Selama pelaksanaan konstruksi, pengujian mutu dilakukan secara rutin di laboratorium yang independen. Pengujian ini mencakup uji kuat tekan, slump test untuk mengawasi kelecahan beton, serta pengujian terkait kandungan air dan suhu beton. Proses ini sangat penting untuk memastikan stabilitas campuran beton, terutama mengingat kondisi iklim tropis di Kalimantan Timur yang bisa menyebabkan fluktuasi suhu dan kelembapan yang ekstrem. Pengawasan di lapangan yang konsisten terbukti efektif dalam mengurangi kemungkinan terjadinya retak dini dan memastikan bahwa proses pengerasan berjalan dengan baik.

Selain pengujian fisik, proyek ini juga memanfaatkan teknologi digital lewat sistem Building Information Modelling (BIM). Teknologi ini memungkinkan semua pihak baik perencana, kontraktor, maupun pengawas untuk memantau perkembangan proyek secara langsung. Dengan BIM, setiap elemen dari struktur bisa dimodelkan dalam bentuk tiga dimensi, disertai dengan informasi teknis seperti ketahanan material, volume beton, dan hasil pengujian di

lapangan. Data tersebut dapat diakses oleh semua anggota tim, sehingga komunikasi antar departemen menjadi lebih terbuka dan efisien.

Dalam hal logistik, pengelolaan material beton dilakukan dengan prinsip Just-in-Time Delivery System, yang memastikan beton segar dikirim dan digunakan sesuai dengan jadwal pengecoran. Sistem ini esensial untuk menjaga mutu beton, mencegah setting time yang terlalu cepat, serta menghindari segregasi. Untuk pengecoran kubah utama, metode slipform diterapkan agar pengecoran bisa dilakukan secara terus-menerus dengan akurasi tinggi, sehingga menjamin sambungan beton yang lebih kuat dan rapat. Koordinasi antara kontraktor, konsultan pengawas, dan tim lapangan berlangsung setiap hari melalui rapat teknis singkat, untuk membahas kondisi cuaca, kemajuan pekerjaan, serta masalah yang muncul. Pendekatan ini menunjukkan bahwa pengendalian mutu bukan hanya berkaitan dengan prosedur teknis, tetapi juga mencerminkan budaya kerja yang penting dalam hal disiplin, tanggung jawab, dan komunikasi yang terbuka.

Secara keseluruhan, strategi manajemen mutu yang diterapkan dalam proyek Masjid Negara IKN membuktikan bahwa pengawasan yang efektif bisa menjembatani kesenjangan antara perencanaan di atas kertas dan realitas di lapangan. Kombinasi antara pengujian teknis, sistem digital, dan manajemen kolaboratif merupakan faktor kunci dalam menjaga konsistensi kualitas beton berperforma tinggi yang digunakan di proyek ini. Pendekatan ini diharapkan dapat menjadi standar baru untuk proyek-proyek publik di Indonesia yang membutuhkan ketepatan, ketahanan, dan efisiensi yang tinggi.

4. Kesimpulan

Studi mengenai konstruksi beton dalam pembangunan Masjid Negara IKN menunjukkan bahwa keberhasilan proyek ini terikat pada kerjasama antara inovasi dalam material, metode konstruksi, dan penerapan prinsip arsitektur berkelanjutan. Tantangan signifikan seperti tanah yang lembek, curah hujan yang tinggi, dan kebutuhan akan arsitektur yang megah berhasil diatasi dengan pemanfaatan *High Performance Concrete* (HPC) yang diperkaya dengan bahan tambahan mineral, seperti fly ash dan silica fume. Dari segi teknis, HPC meningkatkan daya tahan, kedap air, serta ketahanan terhadap fluktuasi suhu dan korosi, sehingga struktur bangunan mampu bertahan dalam keadaan lingkungan yang ekstrem. Secara strategis, penerapan standar SNI 2847:2019, SNI 1726:2019, dan pengawasan kualitas yang berbasis laboratorium memastikan bahwa kualitas beton mencapai standar nasional.

Pendekatan manajerial yang canggih, seperti penggunaan BIM dan sistem precast, mempercepat proses pembangunan tanpa mengorbankan kualitas dan nilai estetis. Dalam konteks arsitektur, teknologi beton mendukung pembuatan ruang yang luas dan tanpa kolom, serta struktur monumental, tetapi dengan memperhatikan efisiensi energi. Kolaborasi antara material, struktur, dan desain menciptakan ruang spiritual yang mencerminkan makna religius dan menampilkan kemajuan teknik konstruksi di negara ini. Oleh karena itu, Masjid Negara IKN dapat dianggap sebagai contoh arsitektur berkelanjutan tingkat nasional yang menggabungkan nilai-nilai religius, inovasi dalam teknologi beton, dan strategi pembangunan yang cerdas di iklim tropis. Keberhasilan ini menginspirasi perkembangan infrastruktur publik di masa mendatang di Indonesia, terutama bagi proyek yang memerlukan keseimbangan antara ketahanan struktural, estetika, dan tanggung jawab terhadap lingkungan.

5. Daftar Pustaka

- Awaluddin, M., & Prabowo, T. (2020). Implikasi kondisi iklim tropis terhadap masa pakai beton kualitas tinggi. *Jurnal Rekayasa Sipil dan Lingkungan*, 6(3), 215–223.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019a). SNI 1726:2019: Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non-gedung. Badan Standardisasi Nasional.

- Badan Standardisasi Nasional. (2019b). SNI 2847:2019: Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung. Badan Standardisasi Nasional.
- Bowles, J. E. (1996). Foundation analysis and design (5th ed.). McGraw-Hill.
- Das, B. M. (2011). Principles of foundation engineering (7th ed.). Cengage Learning.
- Hardiyatmo, H. C. (2010). Analisis dan perancangan pondasi II. Gadjah Mada University Press.
- Hasanta, R., Dewi, S., & Putri, A. (2024). Analisis ketahanan beton kinerja tinggi menggunakan silika fume dan fly ash di iklim tropis. *Jurnal Teknik Sipil dan Material Konstruksi*, 10(2), 155–167.
- Hyde, R. (2008). Bioclimatic housing: Innovative designs for warm climates. Earthscan.
- Indriyantho, B., Hadi, D., & Kusuma, F. (2023). Riset penerapan beton kinerja tinggi pada struktur gedung bertingkat di Indonesia. *Jurnal Riset Rekayasa Sipil*, 9(1), 77–88.
- Ling, Y., Fu, C., Zhang, P., & Taylor, P. (2022). Advances in sustainable concrete systems. Springer Nature.
- Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. M. (2014). Concrete: Microstructure, properties, and materials (4th ed.). McGraw-Hill Education.
- Pemerintah Republik Indonesia. (2021). Peraturan Pemerintah Nomor 16 Tahun 2021 tentang Bangunan Gedung. Sekretariat Negara.
- Putra, A. W., Nugraha, P., & Suryani, D. (2018). Pengaruh lingkungan gambut terhadap kuat tekan dan durabilitas beton. *Jurnal Teknik*, 12(1), 45–53. <https://journal.unilak.ac.id/index.php/teknik/article/view/3882>
- Rahman, A., & Iskandar, R. (2021). Durabilitas beton mutu tinggi terhadap lingkungan agresif laut. *KOHESI: Jurnal Teknik Sipil*, 5(1), 12–22. <https://ejournal.cibinstitute.com/index.php/kohesi/article/view/421>
- Rosyidi, D. H., & Sulton, M. (2022). Ketahanan beton dengan agregat ringan berbasis fly ash di daerah tropis. *PADURAKSA: Jurnal Teknik Sipil Universitas Warmadewa*, 13(1), 11–17.
- Schodek, D. L., Bechthold, M., & Griggs, K. (2019). Structures (7th ed.). Pearson Education.
- Simanjuntak, P. (2019). Pengembangan teknologi beton kinerja tinggi yang berkelanjutan. *CENTECH: Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, 1(2), 65–74. <https://doi.org/10.21063/CENTECH.v1i2.4816>
- Szokolay, S. V. (2014). Introduction to architectural science: The basis of sustainable design (3rd ed.). Routledge.
- Taffese, W. Z., & Nunes, P. (2023). Innovations in sustainable concrete material durability. Elsevier.
- Tiorivaldi, T., & Abriantoro, A. P. (2023). Penelitian eksperimental beton self-compacting fly ash volume tinggi dengan penambahan silika fume. *Jurnal Manajemen Teknologi dan Teknik Sipil*, 7(2), 80–91.
- Tristanto, L. (2017). Beton mutu tinggi untuk komponen jembatan pracetak. *Jurnal Jalan Jembatan*, 34(2), 87–96. <https://binamarga.pu.go.id/jurnal/index.php/jurnaljalanjembatan/article/view/879>
- Wang, L., Tang, S., Chen, T., Li, W., & Gunasekara, C. (2022). Sustainable hydraulic high-performance concrete. *Sustainability*, 14(2), Article 695. <https://doi.org/10.3390/su14020695>
- Yeang, K. (2017). Ecodesign: A manual for ecological design. Wiley.