

STRATEGI PENGEMBANGAN TEKNOLOGI DIGITAL DALAM METODE KERJA DI INDUSTRI KONSTRUKSI UNTUK PEMBANGUNAN NASIONAL

Jatiaryo Sidiq Ramadhan¹ dan Oei Fuk Jin²

¹Program Studi Magister Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
jatiaryo.327231015@stu.untar.ac.id

²Program Studi Magister Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
fukjin.untar@gmail.com

Masuk: 22-10-2023, revisi: 01-12-2023, diterima untuk diterbitkan: 02-12-2023

ABSTRACT

Many countries have recognized the importance of industrial construction in a country's economic growth and national development. However, in its implementation, there are still many problems and limitations in its implementation. One of the ways to develop the construction industry is through digital reform. Digital reform in the implementation of the construction industry is very important for the sustainability of national development which is more accurate, effective and efficient. The right strategy for the implementation of construction industry digital reforms in the construction industry is important to ensure comprehensive implementation. This article presents the results of a qualitative analysis of the Strategy for the Development of Digital Technology in Work Methods in the Construction Industry for National Development. The research results were obtained from a qualitative analysis of many related literature and articles. The results were sorted to find literature and articles that were more relevant to the topic. There are two important aspects that are the main contributions in the Strategy for the Development of Digital Technology in Work Methods in the Construction Industry for National Development. These aspects are Future Innovations and National Development. This aspect can indicate that the Digital Technology Development Strategy in the Construction Industry can be carried out by continuing to develop future innovations and carry out digital reforms with the support of policies or rules formed by the government so that rapid growth can occur in national development.

Keywords: construction industry; digital technology; future innovations; national development

ABSTRAK

Banyak negara telah menyadari pentingnya industri Konstruksi dalam pertumbuhan ekonomi dan pembangunan nasional suatu negara. Namun dalam pelaksanaannya masih terdapat banyak permasalahan dan keterbatasan yang dihadapi. Salah satu cara untuk mengembangkan industri konstruksi adalah dengan reformasi digital. Reformasi digital pada pelaksanaan industri konstruksi sangat penting untuk keberlanjutan pembangunan nasional yang lebih akurat, efektif dan efisien. Strategi yang tepat dalam upaya pelaksanaan reformasi digitalisasi industri konstruksi penting untuk memastikan implementasi yang menyeluruh. Artikel ini menunjukkan hasil analisis kualitatif terhadap Strategi Pengembangan Teknologi Digital dalam Metode Kerja di Industri Konstruksi Untuk Pembangunan Nasional. Hasil penelitian didapat dari analisis kualitatif terhadap banyak literature dan artikel yang saling berkaitan. Hasil tersebut di pilah kembali untuk mencari literatur dan artikel yang jauh lebih relevan dengan topik tersebut. Terdapat dua aspek penting yang menjadi kontribusi utama dalam Strategi Pengembangan Teknologi Digital dalam Metode Kerja di Industri Konstruksi Untuk Pembangunan Nasional. Aspek tersebut adalah *Future Innovations* (Inovasi Masa Depan) dan *National Development* (Pembangunan Nasional). Aspek tersebut dapat mengindikasikan bahwa Strategi Pengembangan Teknologi Digital di Industri Konstruksi dapat dilakukan dengan terus mengembangkan inovasi masa depan dan melakukan reformasi digital dengan dukungan kebijakan atau aturan yang dibentuk pemerintah sehingga dapat terjadi pertumbuhan yang pesat pada pembangunan nasional.

Kata kunci: industri konstruksi; digital teknologi; inovasi masa depan; pembangunan nasional

1. PENDAHULUAN

konstruksi merupakan hal yang sangat penting dalam mendorong pertumbuhan kemajuan ekonomi di banyak negara termasuk di Indonesia. Ekonomi digital dengan informasi dan teknologi serta data merupakan inti yang dapat terus berkembang pesat dan menjadi pendorong penting bagi pembangunan sosial dan ekonomi di banyak negara (Zhang, Zhao, Wan, & Yao, 2021). Mempercepat integrasi ekonomi digital dengan realisasi ekonomi juga menjadi perhatian

penting bagi banyak perekonomian nasional (Tokody, 2018). Mengeluarkan kebijakan yang efektif untuk mendorong transformasi digital dalam konteks digitalisasi industri konstruksi saat ini menjadi perhatian banyak negara (Zhang, et al., 2023). Maka transformasi-transformasi perkembangan digital harus terus dilakukan dalam segala industri termasuk dalam industri konstruksi untuk mendorong pertumbuhan kemajuan ekonomi disuatu negara termasuk di Indonesia.

Terdapat banyak hal yang dapat dilakukan oleh suatu negara untuk melakukan penerapan digitalisasi pada industri konstruksi. Suatu negara dapat mengeluarkan kebijakan-kebijakan maupun regulasi-regulasi yang berkenaan serta dapat mendorong terjadinya digitalisasi pada setiap pelaksanaan di industri konstruksi. Tema-tema kebijakan yang dapat dilakukan meliputi seperti bangunan rakitan terintegrasi/*integration of assembled buildings*, teknologi digital konstruksi system/*digital technology system construction*, transformasi dan peningkatan unit usaha, serta platform konstruksi pintar/*smart platform construction* (Zhang, et al., 2023). Untuk dapat melakukan digitalisasi pada industri konstruksi maka diperlukan penelitian awal untuk mencari aspek-aspek maupun indikator-indikator penting yang dapat dijadikan acuan untuk pelaksanaan digitalisasi yang efektif dan efisien pada industri konstruksi. Hal tersebut dapat dilakukan dengan cara mempelajari dan menganalisis penelitian-penelitian terkait pengembangan teknologi digital pada pelaksanaan industri konstruksi sampai dengan saat ini. Studi ini memperluas kerangka analisis dan sistem indeks dari penelitian saat ini tentang kebijakan transformasi digital yang ditujukan untuk industri konstruksi (Zhang, et al., 2023).

2. METODE

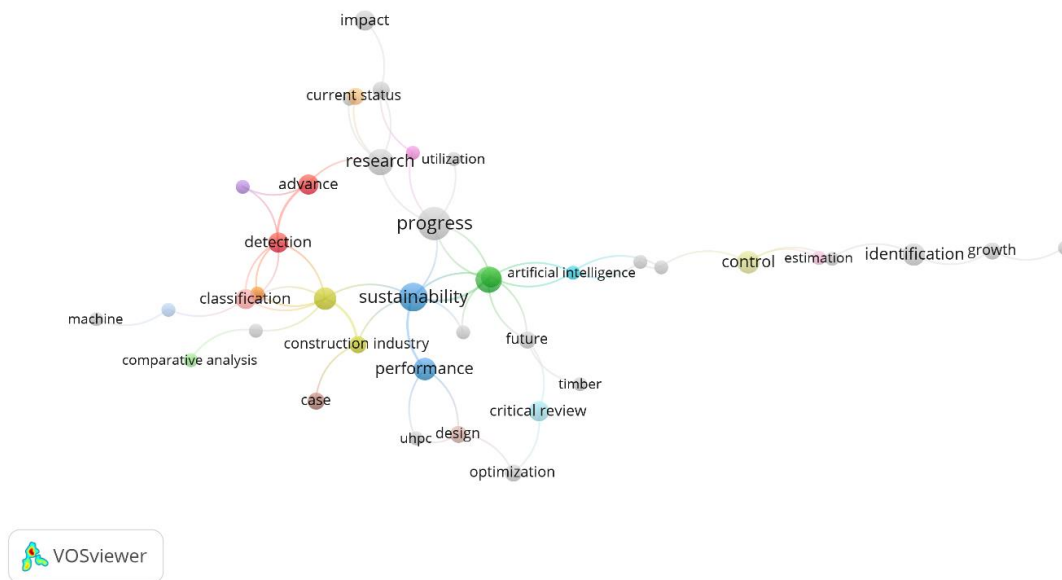
Penelitian ini dilakukan melalui studi literatur dan proses selanjutnya dilakukan analisis dari literatur atau artikel yang ditemukan. Desain penelitian dibagi menjadi beberapa tahap yaitu sebagai berikut :

1. Pendekatan dengan pencarian literature maupun artikel yang berkaitan dengan Strategi Pengembangan Teknologi Digital dalam Metode Kerja di Industri Konstruksi.
2. Melakukan analisis kualitatif terhadap hasil temuan literature maupun artikel terkait.
3. Memperingskan serta mempersempit temuan literature maupun artikel terkait berdasarkan jumlah sitasi untuk menginterpretasikan pembahasan yang paling relevan.
4. Melakukan studi mendalam terhadap literature maupun artikel terkait untuk menginterpretasikan aspek dan indikator penting yang menjadi kontribusi utama dalam Strategi Pengembangan Teknologi Digital dalam Metode Kerja di Industri Konstruksi.

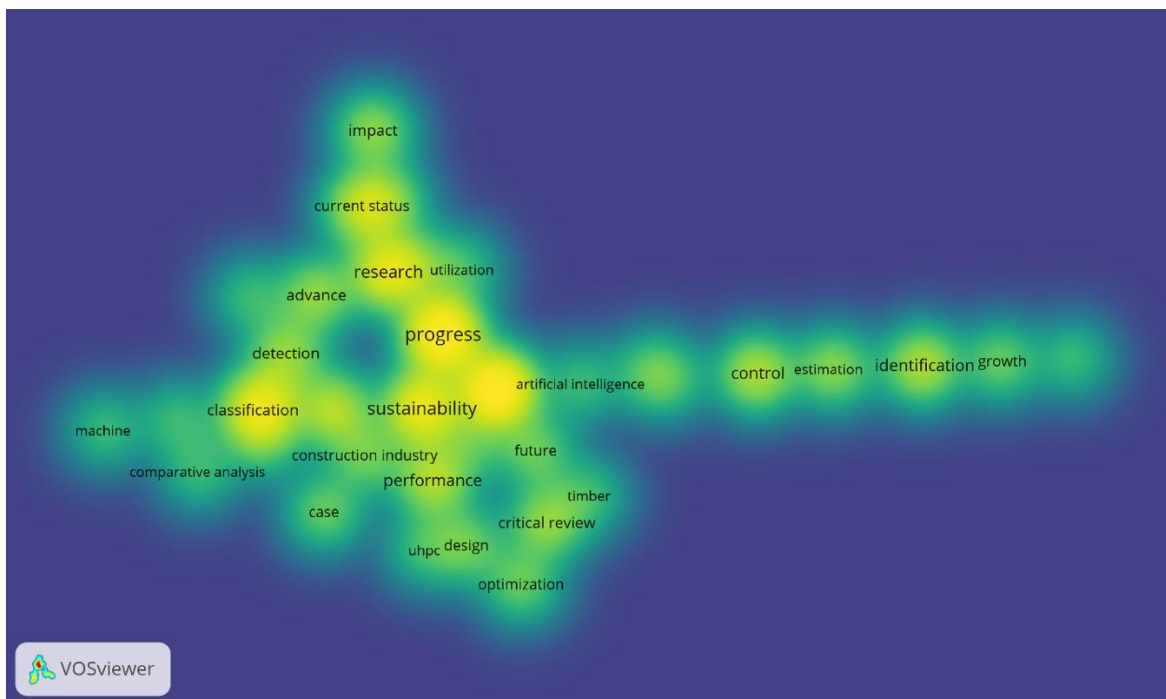
Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan jumlah literatur atau artikel terkait sebanyak mungkin. Pencarian yang digunakan berdasarkan pada berbagai database. Sebagian besar database diambil dari literatur atau artikel terkait yang terindeks Scopus. Basis data tersebut dipilih berdasarkan sifat ilmiah, internasional, dan berkaitan dengan topik-topik yang dimaksud.

Literatur atau artikel terkait yang ditemukan disaring dengan cara memilih makalah teknis dan ulasan, menghapus artikel duplikat, dan menghilangkan makalah yang tidak terlalu berkaitan dengan topik penelitian. Kemudian dilakukan pemilahan lebih lanjut dengan cara menilai jumlah sitasi yang paling besar untuk mencari literatur atau artikel terkait yang lebih relevan.

Berikut adalah peta analisis pencarian yang dilakukan untuk mengambil aspek dan indikator yang dapat diinterpretasikan menjadi kontribusi utama dalam Strategi Pengembangan Teknologi Digital dalam Metode Kerja di Industri Konstruksi.



Gambar 1. Peta analisis ilmiah dengan kelompok kata kunci yang muncul berdasarkan pencarian 1



Gambar 2. Peta analisis ilmiah dengan kelompok kata kunci yang muncul berdasarkan pencarian 2

Tabel 1. Hasil pemilahan artikel berdasarkan jumlah sitasi terbanyak

<i>Authors</i>	<i>Title</i>	<i>Cites per Year</i>	<i>Cites per Author</i>
(Vinod, Sanjay, Suchart, & Jyotishkumar, 2020)	<i>Renewable and sustainable biobased materials: An assessment on biofibers, biofilms, biopolymers and biocomposites</i>	134	402
(Lim, Goh, Kurihara, & Wang, 2021)	<i>Seawater desalination by reverse osmosis: Current development and future challenges in membrane fabrication – A review</i>	93	186
(Brito & Kurda, 2020)	<i>The past and future of sustainable concrete: A critical review and new strategies on cement-based materials</i>	85.5	171
(Albahri, et al., 2020)	<i>Systematic review of artificial intelligence techniques in the detection and classification of COVID-19 medical images in terms of evaluation and benchmarking: Taxonomy analysis, challenges, future solutions and methodological aspects</i>	53	159
(Krauklis, Karl, Gagani, & Jørgensen, 2021)	<i>Composite material recycling technology—state-of-the-art and sustainable development for the 2020s</i>	60.5	121
(Xue, et al., 2020)	<i>Silver-based semiconductor Z-scheme photocatalytic systems for environmental purification</i>	36.33	109
(Brillas, 2021)	<i>Recent development of electrochemical advanced oxidation of herbicides. A review on its application to wastewater treatment and soil remediation</i>	50.5	101
(Ranjbari, et al., 2021)	<i>Two decades of research on waste management in the circular economy: Insights from bibliometric, text mining, and content analyses</i>	43	86
(Yin, et al., 2021)	<i>Sponge city practice in China: A review of construction, assessment, operational and maintenance</i>	40.5	81
(Ge, Han, Zhang, & Ding, 2021)	<i>Dynamic Event-triggered Control and Estimation: A Survey</i>	35.5	71

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Artikel ini mempelajari artikel-artikel maupun literature-literatur terkait digitalisasi pada industri konstruksi berdasarkan tinjauan komprehensif. Analisis pada artikel ini menggunakan *Systematic Literature Review* (SLR) dengan jumlah sampel sebanyak 200 artikel yang dipilih menjadi sasaran analisis kualitatif untuk memungkinkan identifikasi pada aspek-aspek maupun indikator-indikator penting dalam perkembangan metode kerja digitalisasi pada industri konstruksi sampai dengan saat ini. Dari jumlah keseluruhan sampel artikel dipersempit menjadi 10 artikel inti berdasarkan besaran sitasi yang dimiliki. Dari hasil tersebut dianalisis kembali dan dipelajari untuk dapat mengambil interpretasi aspek-aspek maupun indikator-indikator penting yang nantinya dapat dengan fokus di dikembangkan dalam digitalisasi pada industri konstruksi sehingga tercapainya pelaksanaan proyek yang efektif dan efisien.

Terdapat dua (2) kata kunci yang dihasilkan untuk menginterpretasikan aspek-aspek maupun indikator-indikator penting dalam perkembangan metode kerja digitalisasi pada industri konstruksi yaitu *future innovations* (inovasi masa depan) dan *national development* (pembangunan nasional).

***Future Innovations* (Inovasi Masa Depan)**

Industri konstruksi terus berkembang dengan inovasi setiap dihadapkan pada situasi sulit yang mengharuskan adanya perubahan. Kemampuan beradaptasi untuk terus berkembang telah mendorong kemajuan sektor industri konstruksi dalam berbagai banyak hal. Salah satu inovasi yang terjadi pada sektor industri konstruksi saat ini yaitu dalam hal desain, pengembangan metode kerja, dan pembangunan sebuah bangunan dengan cara yang paling efektif dan efisien. Dari studi mendalam secara kualitatif terhadap literature dan artikel terkait yang ditemukan terdapat beberapa inovasi masa depan yang bisa lebih lanjut untuk dikembangkan secara berkelanjutan pada industri konstruksi. Inovasi-inovasi masa depan tersebut adalah sebagai berikut :

1. *Better Building Designs Using Generative Design* (Perancangan Bangunan yang Lebih Baik)

Para desainer dan arsitek sering kali perlu mengeksplorasi beberapa alternatif ketika mendesain sesuatu yang kompleks seperti bentuk bangunan dan jalan layang. *Generative Design* dapat sangat membantu para desainer dan arsitek dengan berbagai pilihan desain yang lebih luas dibandingkan yang dapat dicapai secara manual atau konvensional (Akinosho, et al., 2020). Kemudian terdapat tantangan yang terletak pada pemilihan ide desain terbaik dari luasnya ide desain yang ada. Pilihan desain akhir bergantung pada penilaian subjektif desainer dan arsitek yang berorientasi pada selera dan tujuan yang dimaksud (Akinosho, et al., 2020).

2. *Cash Flow Prediction* (Proyeksi Arus Kas)

Kuangan tetap menjadi elemen penting dalam konstruksi yang mempengaruhi profitabilitas, klasifikasi dan keberlanjutan proyek (Akinosho, et al., 2020). Arus kas yang tidak memadai dapat berdampak negatif terhadap kinerja kontraktor karena hal tersebut akan menyiratkan adanya kekurangan sumber daya yang mendukung kegiatan pelaksanaan sehari-hari (Al Joburi, Al Aomar, & Bahri, 2012). Oleh karena itu, perlu adanya proyeksi arus kas dalam jangka waktu periode pelaksanaan proyek. Dengan proyeksi arus kas maka kontraktor akan dapat memperhitungkan perkiraan arus kas serta merumuskan peluang-peluang kemungkinan yang terjadi sejak awal proses tender. Informasi ini juga dapat digunakan untuk mengidentifikasi masalah dalam hal waktu pekerjaan. Dengan demikian, hal ini akan mengarah pada keberhasilan proyek secara keseluruhan. Selain itu, kontraktor juga dapat menilai efek dari faktor-faktor penentu seperti marketing, biaya tenaga kerja, biaya material, margin, retensi, dan risiko terhadap keseluruhan hasil proyek. Beberapa model dan pendekatan yang berbeda telah dikembangkan untuk proyeksi arus kas dalam sektor konstruksi (Akinosho, et al., 2020).

3. *Integration of Chatbots and BIM (Building Information Modeling)* (Integrasi Chatbots dan BIM)

Sistem BIM telah digunakan sebagian kontraktor besar sementara pengadopsian pada kontraktor yang lebih kecil belum sepenuhnya tereksplorasi (Hong, Sepasgozar, F.F., & Akbarnezhad, 2016). Hambatan yang signifikan terhadap implementasi sistem BIM secara penuh adalah kenyataan bahwa alat BIM yang ada hanya menyediakan *provide mobile* dan *web interfaces* yang mungkin memerlukan waktu dan upaya untuk dapat menguasainya. *Input interfaces* seperti keyboard dan layar sentuh tidak realistis untuk pekerja konstruksi yang sering sibuk dengan pekerjaan konstruksi lainnya dilapangan. Maka diperlukannya pencapaian pembelajaran seperti pelatihan dan penggunaan langsung terhadap pelaksanaan pekerjaan dilapangan. Pencapaian pembelajaran mendalam dapat bermanfaat karena memberikan peluang yang cukup menjanjikan untuk modernisasi BIM namun membutuhkan waktu dalam prosesnya.

Untuk melakukan percepatan implementasi sistem BIM tersebut maka diperlukannya kolaborasi inovasi untuk mencapai kemudahan dalam penggunaannya. Salah satu pengembangan digitalisasi yang dapat dilakukan dalam permasalahan tersebut adalah mengintegrasikan *voice assistants* dalam sistem BIM. Integrasi pada teknik pengenalan suara seperti *natural-language-understanding* (NLU) dan *automatic-speech-recognition* (ASR) akan memberi kemudahan bagi pekerja konstruksi serta menimbulkan kegiatan yang lebih natural dalam berinteraksi dengan alat BIM. Hal tersebut juga dapat dimanfaatkan menjadi cara yang lebih cepat untuk mengeksplorasi maupun meninjau desain 3D (Akinosho, et al., 2020). Salah satu penelitian yang ada saat ini telah menggunakan teknik pengenalan suara untuk tugas-tugas konstruksi seperti merekam dan memperbarui catatan material di lapangan (Tsai, Yang, & Lin, 2007) serta memperhitungkan dan mendokumentasikan kemajuan progress proyek (Sunkpho, James H. Garrett, & Member, 2012). Dengan pengembangan tersebut para pekerja di lapangan dapat bertanya langsung pada alat BIM menggunakan perintah seperti "Bagaimana cara memasang jendela tipe A?" atau "Tunjukkan material yang tersedia dan memenuhi spesifikasi desain". Informasi terkini dalam model BIM sampai dengan saat ini adalah dapat berinteraksi dengan *voice assistants* seperti menangkap perintah dan mencari data dimaksud hanya dengan menggunakan beberapa kata. Pengenalan fitur ini akan meningkatkan produktifitas perusahaan konstruksi bahkan di tingkat subkontraktor (Akinosho, et al., 2020). Mengingat rentannya lokasi konstruksi terhadap kebisingan, maka dibutuhkan pula teknologi berbasis suara yang dapat membedakan suara pekerja dengan suara yang dihasilkan oleh peralatan konstruksi di lapangan.

4. *Retrofitting Adviser for Energy Savings* (Pengembangan pada Penghematan Energi)

Para insinyur bangunan telah mampu mengintegrasikan sistem *Building Performance Simulation* (BPS) ke dalam proses desain bangunan untuk mencapai penurunan terhadap kontribusi konsumsi energi secara keseluruhan. Hal tersebut sudah banyak diimplementasikan pada bangunan residensial dan komersial di banyak kota. Namun industri ini masih membutuhkan retrofit atau penambahan teknologi dan/atau fitur baru pada sistem lama untuk secara otomatis merekomendasikan komponen bangunan yang hemat energi. Penambahan sistem tersebut diharapkan dapat secara otomatis merekomendasikan, menghilangkan atau mengganti komponen bangunan yang dapat menghemat pengeluaran energi. Kontribusi ini membandingkan komponen bangunan dengan komponen pengganti lainnya untuk menentukan apakah penggantian akan menghasilkan penghematan energi yang lebih baik (Akinosho, et al., 2020).

5. *On-Site Safety and Health Monitoring* (Monitoring Lapangan terhadap Keselamatan dan Kesehatan Kerja)

Deteksi dini terhadap kelelahan para pekerja konstruksi dapat sangat membantu dalam meningkatkan produktivitas mereka dalam proyek konstruksi. Bahkan hal tersebut diprediksi dapat mendukung penyelesaian proyek menjadi lebih awal. Model pembelajaran yang mendalam untuk mendeteksi kelelahan pada pekerja konstruksi tersebut dapat membantu para pimpinan proyek dalam mengelola kinerja para pekerja di lapangan. Dengan hal tersebut para pimpinan proyek dapat dengan cepat mengidentifikasi pekerja mana yang perlu diistirahatkan sehingga menghindari kegiatan pekerjaan yang tidak efisien. Hal ini akan meningkatkan keselamatan pekerja di lapangan. Sistem robot pada monitoring tersebut juga dapat mengidentifikasi pekerja dan menghindari objek non-pekerja di dalam area navigasi mereka secara akurat. Perlu dilakukan penelitian berkelanjutan untuk dapat melihat pengintegrasian model pengenalan objek dalam sistem tersebut untuk meningkatkan akurasi navigasi robot (Akinosho, et al., 2020).

6. *Project Risk Mitigation and Analysis* (Mitigasi dan Analisis Resiko Proyek)

Proyek konstruksi terus dihadapkan pada risiko waktu, keselamatan, kualitas, dan biaya. Proyek besar rentan terhadap lebih banyak risiko karena beberapa subkontraktor bekerja secara paralel di lokasi kerja dalam waktu bersamaan. Berdasarkan hal tersebut, padatnya kegiatan dan kepentingan di setiap subkontraktor di lapangan dapat menimbulkan konflik pekerjaan. Pendekatan ini tidak seperti model prediksi manajemen proyek konvensional, karena pendekatan ini akan membuat dan melatih model secara otomatis pada bagan. Bagan yang digunakan untuk pelatihan akan berisi tonggak pencapaian yang dibagi menjadi beberapa tugas dan diidentifikasi secara unik dengan ID, nama, durasi yang diharapkan, jenis, dan tanggal mulai. Dengan pendekatan model ini maka akan dihasilkan suatu analisa mitigasi risiko pada pelaksanaan proyek karena pengelolaan yang diatur sedemikian rupa dengan target-target pelaksanaan yang jelas.

7. *Modular Construction* (Konstruksi Modular)

Konstruksi modular dianggap sebagai masa depan industri konstruksi. Dengan sistem tersebut sangat memungkinkan setiap pembangunan dapat dilaksanakan dengan waktu penyelesaian yang efektif. Meskipun sektor ini berkembang pesat di beberapa negara, masih ada banyak hambatan yang harus diatasi. Hasil analisis komparatif menunjukkan bahwa Singapura salah satu negara yang telah mengembangkan sistem kebijakan yang relatif efektif untuk membantu industri konstruksi dalam merangkul konstruksi modular. Namun hal tersebut belum sepenuhnya didukung dengan kebijakan terkait spesifikasi yang otoritatif. Secara umum, konstruksi modular masih membutuhkan lebih banyak dukungan dari pemerintah, terutama dalam hal bimbingan teknis dan inovasi (Xu, Zayed, & Niu, 2020).

***National Development* (Pembangunan Nasional)**

Pembangunan nasional merupakan aspek penting dalam perkembangan ekonomi suatu negara. Mengeluarkan kebijakan yang efektif untuk mendorong transformasi digital industri konstruksi dalam konteks digital saat ini menjadi perhatian banyak negara. Banyak kebijakan yang dapat diterapkan oleh pemerintah untuk mendukung transformasi digitalisasi pada industri konstruksi. Beberapa tema kebijakan yang dapat dibentuk adalah seperti mencakup integrasi bangunan rakitan, konstruksi sistem teknologi digital, transformasi dan peningkatan perusahaan, serta konstruksi platform pintar (Zhang, et al., 2023). Dari studi mendalam secara kualitatif terhadap literature dan artikel terkait yang ditemukan terdapat beberapa aspek kebijakan yang bisa lebih lanjut dibentuk maupun dirumuskan untuk mendukung pembangunan nasional dalam inovasi masa depan sehingga tercapainya transformasi digitalisasi pada pelaksanaan metode kerja di industri konstruksi. Kebijakan-kebijakan pembangunan nasional tersebut adalah seperti berikut :

1. *Technical Support* (Dukungan Teknis)

Mendukung pengembangan dan penerapan teknologi digital seperti BIM, Big Data, dan Internet of Things (IoT) dalam proses transformasi digital pada industri konstruksi (Zhang, et al., 2023). Hal ini dapat menimbulkan pertumbuhan inovasi dalam transformasi digital pada industri konstruksi untuk terus berkelanjutan.

2. *Financial Input* (Pengalokasian Pendanaan)

Pemerintah suatu negara dapat melakukan pendanaan yang bersifat khusus untuk setiap bentuk perkembangan teknologi digital dalam industri konstruksi. Dukungan keuangan langsung untuk transformasi digital pada industri konstruksi dapat melalui pembentukan dana khusus, subsidi, dan lain sebagainya (Zhang, et al., 2023).

3. *Talent Development* (Pengembangan Bakat)

Bukan hanya dukungan teknis maupun dukungan biaya, pemerintah suatu negara juga harus terus berupaya untuk meningkatkan kualitas SDM terkait, sehingga semua transformasi digitalisasi dapat bertumbuh secara keseluruhan. Oleh sebab itu maka penting untuk menumbuhkan talenta gabungan yang dapat beradaptasi dengan transformasi digital industri konstruksi. Hal ini dilakukan dengan mengoptimalkan dan menyesuaikan sistem profesional dan kurikulum, membangun platform untuk membentuk kerja sama antara sekolah dengan perusahaan, dan membangun basis pelatihan (Zhang, et al., 2023).

4. *Technology Infrastructure Development* (Pengembangan Infrastruktur Teknologi)

Untuk dapat melakukan inovasi yang berkelanjutan maka dibutuhkan pula sarana, prasarana dan fasilitas yang dapat menampung hal tersebut. Mendirikan pusat inovasi teknologi tingkat provinsi, pusat penelitian teknik, dan basis inovasi lainnya dapat memperkuat dukungan ilmiah dan teknologi bagi transformasi digital industri konstruksi (Zhang, et al., 2023).

5. *Target Planning* (Perencanaan Target)

Merencanakan target berdasarkan prioritas kebutuhan, kemampuan SDM dan kemampuan anggaran menjadi penting untuk dapat lebih fokus terhadap suatu implementasi transformasi digital di lapangan. Hal tersebut dapat dilakukan dengan cara mengembangkan rencana pengembangan untuk transformasi digital industri konstruksi, menetapkan target spesifik dan langkah-langkah terkait selanjutnya (Zhang, et al., 2023).

6. *Financial Support* (Dukungan Pendanaan)

Untuk menimbulkan pelaksanaan transformasi digital yang menyeluruh dapat dilakukan dengan cara melakukan dukungan pendanaan pada pelaksanaan konstruksi di lapangan. Memberikan dukungan keuangan untuk proyek-proyek konstruksi yang terkait dengan transformasi digital industri konstruksi penting dilakukan dengan cara memperluas saluran pembiayaan seperti memberikan dukungan kredit prioritas dan meningkatkan jumlah pinjaman oleh lembaga keuangan atau lembaga pemerintah terkait lainnya (Zhang, et al., 2023).

7. *Tax Benefits* (Manfaat Pajak)

Pemerintah suatu negara dapat membentuk suatu regulasi atau peraturan yang dapat membantu atau meringankan para pelaku industri konstruksi yang melakukan dan melaksanakan transformasi digitalisasi pada industri konstruksi. Perusahaan dan individu yang terlibat dalam transformasi digital industri konstruksi serta melaksanakan pengembangan teknologi maupun produk baru dapat diberikan suatu keringanan seperti insentif pajak, keringanan lainnya, dan layanan lainnya yang dapat mendukung hal tersebut (Zhang, et al., 2023).

8. *Public Services* (Layanan Publik)

Memberikan dukungan layanan publik kepada kelompok sasaran kebijakan untuk transformasi digital industri konstruksi melalui platform layanan informasi, layanan pemerintah serta kebijakan-kebijakan lainnya (Zhang, et al., 2023). Hal tersebut dapat memberikan arahan dan informasi yang jelas terhadap pelaku pada industri konstruksi yang melakukan transformasi digital.

9. *Government Procurement* (Bantuan Pengadaan dari Pemerintah)

Mempromosikan jasa pengiriman digital dan pemantauan kualitas proyek konstruksi dengan menggunakan dana pemerintah untuk pembelian produk dan aplikasi yang terkait dengan transformasi digital di industri konstruksi (Zhang, et al., 2023).

10. *Technology Projects* (Proyek teknologi)

Dengan mendorong penelitian antara industry dan universitas dapat mendukung perusahaan-perusahaan besar untuk membentuk konsorsium inovasi bersama dengan universitas dan lembaga penelitian ilmiah, serta mendirikan dan mendanai proyek-proyek penelitian teknologi digital di industri konstruksi (Zhang, et al., 2023).

11. *Pilot Demonstration* (Demonstrasi Percontohan)

Mempromosikan pengalaman serta metode transformasi digital industri konstruksi dan transformasi pencapaian ilmiah dan teknologi melalui konstruksi berbasis percontohan pada proyek-proyek besar serta peran demonstrasi lainnya terkait hal tersebut (Zhang, et al., 2023). Dengan adanya hal tersebut diharapkan dapat menimbulkan efek domino terhadap proyek-proyek lainnya yang belum melakukan transformasi digital.

12. *Promotion* (Promosi)

Mempromosikan transformasi digital industri konstruksi melalui promosi dan implementasi kebijakan, bimbingan teknis, serta pertukaran dan kerja sama dalam transformasi digital industri konstruksi (Zhang, et al., 2023). Dengan adanya hal tersebut diharapkan transformasi digital industry dapat terjadi secara menyeluruh dan berkelanjutan.

4. KESIMPULAN

Penelitian dengan judul "Strategi Pengembangan Digital Masa Depan dalam Metode Kerja di Industri Konstruksi" bertujuan untuk menguraikan inovasi masa depan dan pembangunan nasional. Kesimpulan dari penelitian ini adalah terdapat dua (2) aspek penting yang perlu dianalisis lebih lanjut untuk menimbulkan transformasi digital disetiap metode kerja pada industri konstruksi disuatu negara. Dua (2) aspek tersebut adalah *Future Innovations* (Inovasi Masa Depan) dan *National Development* (Pembangunan Nasional).

Inovasi masa depan pada industri konstruksi sudah berkembang pesat dan terus bertumbuh dibanyak negara. Inovasi masa depan yang bertumbuh sampai dengan saat ini berorientasi terhadap perubahan kegiatan pelaksanaan yang manual atau konvensional menuju digitalisasi dan teknologi terbaharukan. Hal tersebut memungkinkan suatu perencanaan, pelaksanaan maupun pemeliharaan suatu pembangunan jauh lebih akurat, efektif dan efisien dalam segi biaya, mutu maupun waktu. Inovasi masa depan yang terus bertumbuh diharapkan dapat menjawab setiap permasalahan yang timbul dalam industri konstruksi. Ada banyak pertumbuhan inovasi masa depan yang sedang terus dikembangkan maupun sudah diimplementasikan dalam pelaksanaan dilapangan. Beberapa inovasi masa depan yang sedang dan sudah dilakukan dibanyak negara adalah seperti *Better Building Designs Using Generative Design, Cash Flow Prediction, Integration of Chatbots and BIM, Retrofitting Adviser for Energy Savings, On-Site Safety and Health Monitoring, Project Risk Mitigation and Analysis, dan Modular Construction*. Untuk terus mendukung perkembangan pada industri konstruksi maka diperlukannya adaptasi yang berkelanjutan serta pengembangan-pengembangan teknologi terkait lainnya sehingga hal tersebut dapat terus bertumbuh secara pesat dan menyeluruh.

Inovasi masa depan pada industri konstruksi yang terus bertumbuh perlu dijaga dan di implementasikan. Hal tersebut tidak mungkin terimplementasikan tanpa ada peran pemerintah pada negara tersebut. Setiap pemerintah disuatu negara harus ikut serta dalam menjaga keberlanjutan pembangunan nasional dinegara tersebut. Pembangunan nasional merupakan aspek penting dalam keberlanjutan suatu negara dan industri konstruksi merupakan aspek penting dalam pembangunan nasional. Banyak hal sudah dilakukan oleh pemerintah di suatu negara untuk mendukung pertumbuhan pembangunan nasional. Perlu menjadi catatan penting disetiap pemerintahan disuatu negara untuk turut pula mendukung perkembangan inovasi-inovasi yang bertumbuh diindustri konstruksi. Perkembangan yang berorientasi pada inovasi masa depan di industri konstruksi akan menimbulkan pertumbuhan yang berdampak pada pembangunan nasional. Dalam hal ini pemerintah harus hadir dalam membentuk suatu regulasi maupun peraturan yang dapat mempertahankan maupun menimbulkan pertumbuhan pada inovasi masa depan berbasis digital di industri konstruksi. Beberapa kebijakan regulasi maupun peraturan dapat dilakukan sebagai upaya mendukung inovasi masa depan pada industri konstruksi. Beberapa upaya tersebut adalah seperti *Technical Support, Financial Input, Talent Development, Technology Infrastructure Development, Target Planning, Financial Support, Tax Benefits, Public Services, Government Procurement, Technology Projects, Pilot Demonstration dan Promotion*.

Berdasarkan hal tersebut di atas maka untuk mencapai pelaksanaan yang optimal terhadap reformasi digitalisasi pada industri konstruksi maka strategi pengembangan yang dapat dilakukan yaitu diperlukannya kolaborasi dua (2) aspek penting tersebut secara berkesinambungan. Kolaborasi perkembangan inovasi masa depan dengan dukungan kebijakan-kebijakan pemerintah dalam pembangunan nasional diharapkan dapat menjadi pondasi utama dalam transformasi digitalisasi dalam metode kerja pada industri konstruksi. Hal tersebut perlu diselaraskan untuk pencapaian optimalisasi pada aspek biaya, mutu maupun waktu disetiap pelaksanaan pada industri konstruksi.

DAFTAR PUSTAKA

- Sunkpho, J., James H. Garrett, J., & Member, A. a. (2012). Opportunities to use speech recognition for bridge inspection. *Construction Congress VI: Building Together for a Better Tomorrow in an Increasingly Complex World*. American Society of Civil Engineers.
- Tokody, D. (2018). Digitising the European industry - holonic systems approach. *11th International Conference Interdisciplinarity in Engineering, INTER-ENG 2017*. 22, pp. 1015–1022. Procedia Manufacturing.
- Tsai, M. K., Yang, J. B., & Lin, C. Y. (2007). Integrating wireless and speech technologies for synchronous on-site data collection. *Automation in Construction (2007)*. 16, pp. 378–391. Automation in Construction.
- Yeum, C. M., & Dyke, S. J. (2015). Vision-Based automated crack detection for bridge inspection. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 30, 759–770, 10.1111/mice.12141.

- Brito, J. d., & Kurda, R. (2020). The past and future of sustainable concrete: A critical review and new strategies on cement-based materials. *Journal of Cleaner Production*, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123558>.
- Albahri, O. S., Zaidan, A. A., Albahri, A. S., Zaidan, B. B., Abdulkareem, K. H., Qaysi, Z. T., . . . Rashid, N. A. (2020). Systematic review of artificial intelligence techniques in the detection and classification of COVID-19 medical images in terms of evaluation and benchmarking: Taxonomy analysis, challenges, future solutions and methodological aspects. *Journal of Infection and Public Health*, *13*, 1381-1396, <https://doi.org/10.1016/j.jiph.2020.06.028>.
- Xue, W., Huang, D., Wen, X., Chen, S., Cheng, M., Deng, R., . . . Liu, X. (2020). Silver-based semiconductor Z-scheme photocatalytic systems for environmental purification. *Journal of Hazardous Materials*, *390*, 122128, <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122128>.
- Yin, D., Chen, Y., Jia, H., Wang, Q., Chen, Z., Xu, C., . . . Chen, A. S. (2021). Sponge city practice in China: A review of construction, assessment, operational and maintenance. *Journal of Cleaner Production*, *280*, 124963, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124963>.
- Hong, Y., Sepasgozar, S. M., F.F., A. A., & Akbarnezhad, A. (2016). Factors influencing BIM Adoption in Small and Medium Sized Construction Organizations. *International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC 2016)*, 33.
- Akinosho, T. D., Oyedele, L. O., Bilal, M., Ajayi, A. O., Delgado, M. D., Akinade, O. O., & Ahmed., A. A. (2020). Deep learning in the construction industry: A review of present status and future innovations. *Journal of Building Engineering*, <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101827>.
- Al Joburi, K. I., Al Aomar, R., & Bahri, a. M. (2012). Analyzing the impact of negative cash flow on construction performance in the Dubai Area. *Journal of Management in Engineering*, *28* (4): 382–390, . [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000123](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000123).
- Brillas, E. (2021). Recent development of electrochemical advanced oxidation of herbicides. A review on its application to wastewater treatment and soil remediation. *Journal of Cleaner Production*, *290*, 125841, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.125841>.
- Ge, X., Han, Q. L., Zhang, X. M., & Ding, D. (2021). Dynamic event-triggered control and estimation: A survey. *International Journal of Automation and Computing*, *18*(6), 857-886, <http://doi.org/10.1007/s11633-021-1306-z>.
- Krauklis, A. E., Karl, C. W., Gagani, A. I., & Jørgensen, J. K. (2021). Composite material recycling technology—state-of-the-art and sustainable development for the 2020s. *Journal of Composites Science*, *5*, 28, <https://doi.org/10.3390/jcs5010028>.
- Lim, Y. J., Goh, K., Kurihara, M., & Wang, R. (2021). Seawater desalination by reverse osmosis: Current development and future challenges in membrane fabrication – A review. *Journal of Membrane Science*, *629*, 119292, <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2021.119292>.
- Ranjbari, M., Saidani, M., Esfandabadi, Z. S., Peng, W., Lam, S. S., Aghbashlo, M., . . . Tabatabaei, M. (2021). Two decades of research on waste management in the circular economy: Insights from bibliometric, text mining, and content analyses. *Journal of Cleaner Production*, *314*, 128009, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128009>.
- Vinod, A., Sanjay, M., Suchart, S., & Jyotishkumar, P. (2020). Renewable and sustainable biobased materials: An assessment on biofibers, biofilms, biopolymers and biocomposites. *Journal of Cleaner Production*, *258*, 120978, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120978>.
- Xu, Z., Zayed, T., & Niu, Y. (2020). Comparative analysis of modular construction practices in mainland China, Hong Kong and Singapore. *Journal of Cleaner Production*, *245*, 118861, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118861>.
- Zhang, J., Chen, M., Ballesteros-Pérez, P., Ke, Y., Gong, Z., Ni, Q., & Ni. (2023). A New Framework to evaluate and optimize digitaltransformation policies in the construction industry: a China Case Study. *Journal of Building Engineering*, *70*, 106388, <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.106388>.
- Zhang, W., Zhao, S., Wan, X., & Yao, Y. (2021). Study on the effect of digital economy on high-quality economic development in China. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0257365>.

