

Perkembangan *Internet of Things* di Industri Konstruksi

Mia Wimala¹ dan Kineta Imanuela¹

Dikirim: 14/03/2022

Diterima: 20/03/2022

ABSTRAK

Dalam satu dekade terakhir, belum banyak ditemukan penelitian yang membahas tentang kemajuan penggunaan Internet of Things (IoT) di industri konstruksi Indonesia. Di era industri 4.0 seperti sekarang ini, dibutuhkan sebuah penelitian untuk mengetahui perkembangan IoT di industri konstruksi baik di Indonesia maupun di luar negeri, dan mengetahui kesenjangan di antaranya. Penelitian ini dilakukan menggunakan metode bibliometrik dengan *software* Publish or Perish 7. Data akan dikelompokkan dalam lima ranah pada industri konstruksi yang sangat terpengaruh dengan masuknya IoT yaitu: *construction safety, machine control, site management, fleet management* dan *project management*. Dari penelitian didapati bahwa Cina merupakan negara dengan kemajuan penggunaan IoT paling pesat dimana ranah yang paling banyak dibahas adalah terkait *construction safety*. Sementara itu, penerapan IoT di industri konstruksi di Indonesia baru dimulai dalam beberapa tahun terkahir, yang ditandai dengan masih sedikitnya karya ilmiah yang terkait penerapan IoT di industri konstruksi. Pemerintah Indonesia juga masih belum berinvestasi pada sektor penelitian dan pengembangan sebanyak negara lain yang ditinjau. Temuan ini diharapkan mampu menjadi basis dalam menginisiasi penerapan IoT di industri konstruksi Indonesia.

Kata kunci: *Internet of Things*, IoT, IoT di Industri Konstruksi, Revolusi Industri 4.0

1. PENDAHULUAN

Pada tahun 2030, industri konstruksi Indonesia akan menjadi pemain besar di peringkat ke-4 pada pasar dunia setelah China, USA, dan India [1]. Untuk menunjang hal tersebut, dibutuhkan lebih banyak lagi terobosan-terobosan baru untuk peningkatan produktivitas di bidang konstruksi. Tingkat inovasi di industri konstruksi Indonesia masih rendah sehingga diperlukan upaya perbaikan [2]. Penerapan teknologi informasi dan komunikasi dibutuhkan untuk mencapai tingkat efisiensi yang tinggi dengan kualitas produk konstruksi yang baik [3]. Salah satu contoh penerapan teknologi informasi dan komunikasi adalah IoT (*Internet of Things*). IoT merupakan salah satu bentuk penerapan dari prinsip interkoneksi pada revolusi industri 4.0 dan hal ini pula yang membuat revolusi saat ini berbeda dibandingkan dengan revolusi sebelumnya [4]. Hingga tahun 2020, sudah terdapat 31 miliar perangkat yang sudah menerapkan sistem IoT dan sudah berhubungan satu sama lainnya [5]. Hal ini membuktikan bahwa penerapan IoT di Indonesia secara umum sudah banyak diterapkan pada kehidupan sehari-hari, namun penerapannya di industri konstruksi masih belum banyak dibahas. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui perkembangan penerapan IoT di industri konstruksi Indonesia dan perbedaan penerapannya di industri konstruksi di negara lain.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Istilah IoT pertama kali disebutkan oleh Kevin Ashton pada tahun 1999 di salah satu seminar untuk perusahaan *Procter & Gamble* (P&G). IoT merupakan sebuah system dimana Internet akan terhubung dengan dunia nyata via sensor yang tersebar dimana-mana [6]. IoT terdiri dari 2 kata yaitu *Internet* dan *Things* yang apabila digabungkan akan menjadi sebuah jaringan yang terdiri

¹ Universitas Katolik Parahyangan, Jl. Ciumbuleuit No. 94, Bandung 40141

*Penulis korespondensi: miasoejoso@unpar.ac.id

dari objek cerdas yang terbuka dan komprehensif, yang memiliki kapasitas untuk mengatur, berbagi informasi, data, dan sumber daya secara otomatis, serta mampu bereaksi terhadap perubahan situasi dan lingkungan [7]. IoT merupakan sebuah konsep yang memungkinkan semua perangkat yang telah terhubung dengan internet dapat berinteraksi satu sama lainnya tanpa ada campur tangan manusia [8]. Kemunculan IoT akan memungkinkan juga adanya komunikasi antara manusia ke manusia, manusia ke objek, dan objek ke objek di dunia dengan memberikan identitas yang unik pada setiap objek [9]. IoT sendiri terdiri dari sensor, aktuator, sinyal elektronik, robot, dan berbagai macam benda fisik yang disediakan untuk menunjang inovasi dan *smart application* di suatu industri [10]. IoT terdiri dari empat *layer* yaitu *perception layer* yang merupakan sisi terdiri dari sensor untuk mempermudah hubungan antar alat, *middleware layer* yang bertanggung jawab dalam menyediakan jasa bagi pengguna, *network layer* yang bertanggung jawab dalam mengantarkan informasi agar dapat sampai pada tujuan yang benar, dan *application layer* yang bertugas untuk menjadi pengantar jasa yang telah dilakukan [11].

Penerapan IoT pada industri konstruksi akan banyak berpengaruh pada lima ranah yaitu *site monitoring*, *machine control*, *construction safety*, *fleet management*, dan *project management* [12]. *Site monitoring* merupakan bagian pada konstruksi untuk memastikan bahwa perkembangan proyek dan lingkungan dari konstruksi itu sendiri selalu sesuai *time schedule* yang sudah dibuat [13]. *Machine control* merupakan sebuah sistem yang akan mempermudah pengendalian penggunaan mesin, seperti pemilihan periode *maintenance*, penggunaan bahan bakar, dan suhu mesin sehingga dapat memperpanjang penggunaan mesin sekaligus memperpanjang umur mesin [8]. *Construction safety* akan berguna bagi *project manager* untuk memeriksa pekerja dan lokasinya, serta dapat mengawasi hal-hal berbahaya di proyek secara efektif [14]. *Fleet Management* dapat dimaksimalkan oleh *project manager* dan *site supervisor* untuk melacak status, rencana, dan koordinat pengantaran bahan material. Penting bagi *project manager* untuk mengetahui hal-hal tersebut agar dapat langsung memperbaiki jadwal apabila terjadi hal yang tidak diduga [15]. *Project management* akan mengatur indikator kunci pada sebuah proyek yaitu waktu, biaya, kualitas, dan cakupan dari sebuah proyek [13].

3. METODOLOGI PENELITIAN

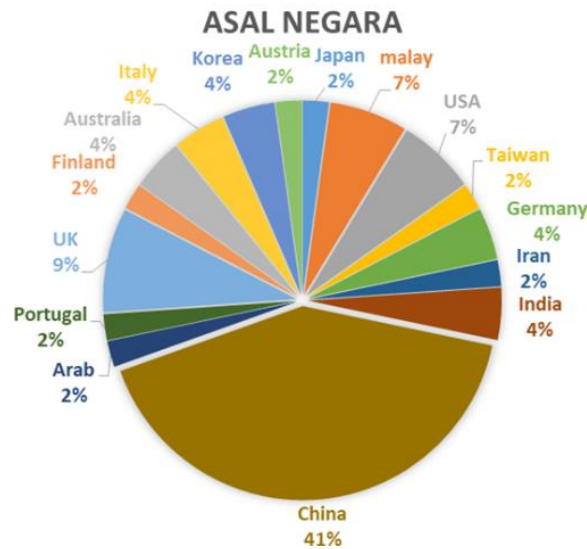
Pengumpulan data dilakukan secara bibliometrik dengan melakukan kajian literatur terhadap penggunaan IoT di industri konstruksi di dunia dan penggunaannya di Indonesia. Penelitian kualitatif ini menggunakan software *Publish or Perish 7* dengan sumber karya ilmiah berasal dari *Google Scholar*. Kata kunci yang digunakan untuk menangkap karya-karya ilmiah yang telah dibuat oleh negara lain pada penelitian ini adalah *construction*, konstruksi dan IoT. Karya ilmiah yang masuk ke dalam penelitian juga dibatasi dari tahun 2010 hingga tahun 2021. Pembatasan h-index penulis rata-rata yang ditemukan di luar negeri adalah 139, sementara di Indonesia hanya menunjukkan nilai rata-rata 5. Karya ilmiah yang berhasil diidentifikasi selanjutnya dikelompokkan sesuai dengan asal negara, tahun penulisan, ranah yang berkaitan, serta jenis penelitiannya, baik penelitian dasar maupun terapan.

Analisis akan dilakukan terhadap hasil penelitian dari enam negara yang paling menonjol di setiap ranah, negara yang sudah lama menerapkan IoT di industri konstruksi, dan negara tempat ditemukannya IoT. Komparasi juga dilakukan untuk mengidentifikasi hal-hal yang sudah diterapkan di industri konstruksi di Indonesia maupun di luar negeri. Faktor-faktor yang mendukung penerapan IoT di masing-masing negara juga dikaji dan dibandingkan untuk mengetahui kesenjangannya. Parameter yang difokuskan dalam penelitian ini mencakup tahun munculnya IoT, jumlah karya ilmiah yang masuk, ranah yang paling banyak dipengaruhi, jenis penelitian, serta peraturan yang diberlakukan untuk ikut mendorong para pelaku konstruksi di negara yang dikaji. Pada akhirnya, kesimpulan yang dibuat diharapkan dapat bermanfaat bagi para pihak yang terkait sebagai dasar pertimbangan untuk mengejar ketinggalan Indonesia dalam penerapan IoT di industri konstruksi. Selain itu, saran dan kritik juga akan dituliskan pada

penelitian ini dengan harapan dapat membantu penelitian yang mungkin dilakukan oleh peneliti selanjutnya.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

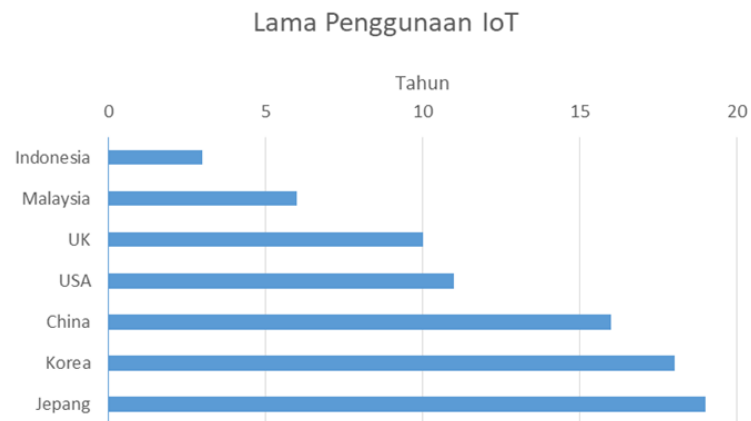
Enam belas negara berkontribusi dalam penelitian terkait implementasi IoT di industri konstruksi dengan total 46 karya ilmiah. Pembagian asal negara terhadap karya ilmiah terkait IoT di industri konstruksi dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Persentase Asal Negara Penyumbang Karya Ilmiah

Kajian selanjutnya akan diutamakan pada enam negara selain Indonesia yaitu negara China, Jepang, Korea, Malaysia, Amerika Serikat (*United States of America-USA*), dan Inggris Raya (*United Kingdom-UK*) karena negara-negara tersebut mewakili karya-karya ilmiah dalam lima ranah seperti yang telah dijelaskan sebelumnya. Dapat dilihat bahwa Cina merupakan negara yang paling banyak menyumbang hasil penelitiannya yaitu sebanyak 19 karya ilmiah atau sebanyak 41% dari total karya ilmiah yang diperoleh. Apabila dibandingkan dengan lama penerapan IoT di industri konstruksi, Jepang merupakan negara terlama yang sudah menerapkannya mulai tahun 2002 silam. Hal ini sangat berbeda jauh dengan Indonesia dimana penerapannya baru saja ditemukan 16 tahun kemudian, yaitu pada tahun 2018. Dibandingkan dengan negara lain, terlihat Indonesia memang masih tertinggal jauh dalam hal penggunaan IoT di industri konstruksinya. Hal ini paling tidak didasarkan tidak dijumpainya publikasi yang membahas tentang IoT di Indonesia. Publikasi terkait penggunaan IoT baru dijumpai sekitar empat tahun kebelakangan ini sehingga masih tergolong baru dibandingkan dengan negara lain (Gambar 2). Selain itu, diketahui juga bahwa persentase pengeluaran anggaran negara untuk sektor penelitian dan pengembangan (*research and development-R&D*) di Indonesia juga masih sangat rendah dibandingkan dengan enam negara yang dikaji lainnya. Indonesia berada pada angka 0,1% dari total produk domestik bruto (*gross domestic product-GDP*) dan sangat berbeda dengan 6 negara lain yang minimal mengalokasikan dananya hingga 1% [16].

Ranah dan topik dari 46 karya ilmiah yang ditemukan disajikan pada Tabel 1. Dapat diketahui bahwa *construction safety* merupakan ranah yang paling banyak dibahas dengan total 37% dari total karya ilmiah. Topik penelitian pada masing-masing ranah diidentifikasi melalui pencarian sesuai kata kunci yang telah dijelaskan pada subbab metodologi penelitian.



Gambar 2. Lama Penerapan IoT di Tiap Negara

Tabel 1. Topik yang Dibahas pada Tiap Ranah

No	Ranah	Topik
1.	<i>Project management</i>	<i>Prefabricated construction, lean construction management, real time decision making, Building Information Modeling (BIM) integration</i>
2.	<i>Site monitoring</i>	<i>Augmented reality, BIM integration</i>
3.	<i>Construction safety</i>	<i>BIM integration, smart helmet, safety and health monitoring, Automated check system, Early warning system</i>
4.	<i>Machine control</i>	<i>Blind hoisting, vibration monitoring</i>
5.	<i>Fleet management</i>	<i>Supply chain management, real time project management, BIM integration</i>

Penerapan IoT di Tiap Negara

Cina merupakan negara yang menghasilkan paling banyak publikasi tentang *construction safety*, dimana 70% dari publikasi tersebut membahas tentang topik *early warning system*. Penggunaan *early warning system* dapat membantu deteksi awal potensi kecelakaan di lingkungan konstruksi, seperti munculnya energi berbahaya terkait radiasi, panas, listrik, getaran, dan lain-lain [17]. Penggunaan *early warning system* yang baik dapat mengirim peringatan dengan durasi kurang dari satu detik, dan dapat menaikkan angka kemungkinan keselamatan nyawa dan aset. Tingkat keberhasilan sistem ini mencapai angka 98% dalam rentang tujuh hari dan mencapai 92% dalam rentang 60 hari [18]. Pemerintah Cina juga sangat mendukung penerapan IoT pada proyek konstruksi yang dapat dilihat dari adanya suatu sistem manajemen informasi, yang disebut sebagai *Construction Information Management Service Sharing (CIMSS)*. CIMSS ini bertujuan untuk membagikan informasi bangunan yang menggunakan IoT dengan pembayarannya yang dilakukan untuk tiap penggunaan [19]. Penerapan sistem ini dibuktikan mampu mengurangi penggunaan kertas hingga 40% dari laporan-laporan; mengurangi waktu pengiriman hingga 7,3%; dan waktu pemesanan hingga 20%. Selain itu, Pemerintah Cina juga telah mengeluarkan *Guiding Opinions on Promoting of Orderly Development of Internet of Things* pada 2013 yang isinya mendukung pelaku industri dalam mengimplementasikan IoT dengan memberikan hak-hak istimewa.

UK merupakan negara yang paling banyak membahas mengenai *fleet management*. UK berupaya menanggulangi masalah di sektor sumber daya manusia dengan memaksimalkan penggunaan sensor dan meningkatkan otomatisasi pada proyek konstruksi. Salah satu contoh penerapannya adalah dengan mengintegrasikan waktu truk material berangkat sehingga para pekerja di lapangan bisa lebih siap dan menggunakan sensor yang langsung berintegrasi dengan pembayaran sehingga pembayaran dapat dilakukan secara otomatis dan mengurangi keterlambatan pembayaran [20]. Total pengurangan pekerja di lapangan dapat memotong dana

gaji pekerja hingga \$14,6 triliun [21]. Pemerintah UK telah mengeluarkan *Construction 2025* yang berisi target industri konstruksi ke depannya dalam mengurangi biaya hingga 33%, waktu pengerjaan hingga 50%, gas emisi hingga 50% dan perbedaan pada total ekspor dan impor produk dan material konstruksi hingga 50% [22]. Pada 2021, UK juga telah mengeluarkan regulasi dalam penggunaan IoT disebut dengan *Secure by Design*. Tujuannya adalah untuk meningkatkan fondasi infrastruktur komputasi digital UK secara radikal, mengamankan perangkat generasi berikutnya dan infrastruktur kritis.

Malaysia merupakan negara yang paling banyak membahas tentang *site monitoring*. Malaysia masih banyak menggunakan kertas dalam melakukan pemeriksaan proyek sehingga hal ini menyebabkan terbuangnya waktu dalam pemindahan data manual ke *big data*, selain juga terdapat kehilangan dan inkonsistensi data [23]. Pemerintah Malaysia juga sangat mendukung penggunaan IoT nasional yang ditandai dengan *roadmap* yang membahas tentang strategi penggunaan IoT nasional pada tahun 2015.

USA merupakan salah satu negara pertama dimana ditemukannya penggunaan IoT meskipun bukan dari industri konstruksi. Beberapa karya ilmiah membahas tentang penggunaan BIM dan IoT. Sejak tahun 2010, negara bagian Wisconsin sudah mengharuskan adanya penerapan BIM bagi proyek pemerintah yang bernilai sama atau lebih besar dari \$5 juta dan semua proyek konstruksi dengan biaya sama dengan atau lebih dari \$2,5 juta, bahkan 72% perusahaan konstruksi di USA telah menerapkannya di beberapa aspek [24]. Pada 2020, Pemerintah Amerika meresmikan *The IoT Cybersecurity Improvement Act of 2020* yang berisi tentang keamanan pengguna IoT. *National Institute of Standards and Technology* (NIST) diharapkan dapat memperbarui peraturan ini setiap lima tahun untuk bisa mengimbangi kemajuan teknologi dan masalah yang terbaru.

Jepang merupakan negara yang sudah lama telah menerapkan penggunaan IoT di industri konstruksi. Pada 2016, Jepang sudah melaksanakan pertemuan *Future Investment Conference* untuk membahas tentang *Smart Construction* yang merupakan transformasi digital pada industri konstruksi. *Smart Construction* akan memaksimalkan penggunaan IoT untuk mengumpulkan data dan analisis akan dilakukan oleh *software* sehingga akan menciptakan informasi yang mampu mengoptimasi dan meningkatkan prosesnya bagi pengguna jasa konstruksi [25]. Sampai dengan 2019, *smart construction* di Jepang sudah banyak digunakan oleh perusahaan dan tersebar ke lebih dari 7000 lokasi kerja. Penerapan ICT pada industri konstruksi di Jepang terbukti menaikkan produktivitas hingga 126%, mengurangi polusi akibat bahan bakar hingga 20%, dan bahan lainnya hingga 26% dibandingkan dengan metode konvensional [26].

Korea merupakan negara pertama yang menggunakan internet dan merupakan negara dengan ranking ICT tertinggi di antara negara lainnya. Kekurangan pekerja di industri konstruksi sekitar tahun 2012-2014 yang pernah mencapai sampai 13% pada tahun 2014 menyebabkan lahirnya penerapan ICT di industri konstruksi Korea [27]. Pada 2018, Pemerintah Korea sudah merencanakan sebuah sistem yang mampu memaksimalkan teknologi *smart construction* pada tahun 2025 dan akan mengimplemetasikan sistem konstruksi yang sudah otomatis pada 2030 [28]. *Ministry of Land, Infrastructure, and Transport* Korea pada 2020 telah membuat investasi sebesar \$173 juta dalam enam tahun setelahnya dengan tujuan mendatangkan lebih banyak inovasi bagi industri konstruksi [29]. Pada 2025, diharapkan penggunaan IoT akan diarahkan untuk memantau *safety management* secara *real-time* menggunakan sensor. Hal ini diharapkan dapat mengurangi waktu produksi hingga 20%, meningkatkan kualitas hingga 99%, dan mampu meningkatkan kualitas manajemen sumber daya sehingga dapat lebih efektif lagi [27].

IoT pertama muncul di Indonesia pada tahun 2018 bersamaan dengan maraknya penggunaan *smart watch* dan penggunaannya yang semakin meluas sejak itu. Menurut Ketua Umum Asosiasi IoT Indonesia (Asioti) Teguh Prasetya, akan ada 400 juta sensor IoT di Indonesia dan nilainya akan mencapai 350 triliun rupiah pada 2022 [30]. Pada tahun 2017, PT Waskita Karya (Persero) Tbk. Telah melakukan pengembangan teknologi dan *wearable device hololens* yang merupakan *mixed reality smartglasses* yang menggunakan sensor kontrol dengan gestur tubuh

dan juga suara. Alat ini dibuat dengan tujuan sebagai media komunikasi dan koordinasi digital sehingga model BIM yang telah dibuat dapat dilihat menggunakan kaca mata ini secara hologram [31]. Dari sisi kebijakan, kebijakan umum mengenai IoT sudah diatur di Peraturan Menteri Komunikasi dan Informatika nomor 1 Tahun 2019 tentang Izin Kelas. Pada peraturan tersebut, ketentuan teknis izin kelas; pengawasan dan pengendaliannya; ketentuan peralihan; dan ketentuan penutup dijelaskan dengan cukup detail. Tabel 2 menunjukkan rangkuman kesenjangan penerapan IoT di Indonesia dibandingkan dengan negara-negara lain.

Tabel 2. Hasil Komparasi Terkait ICT, GDP dan Roadmap

Negara	Ranking Adopsi ICT [32]	% terhadap Produk Domestik Bruto Konstruksi	R&D	Roadmap
Cina	18	6,8 (2018) [33]	2,2 (2018) [34]	<i>The 14th Five-Year Plan</i> [35]
UK	31	6 (2018) [36]	1,7 (2018) [37]	<i>Construction 2025</i> [38]
Malaysia	33	1 (2019) [39]	1 (2018) [40]	<i>National IoT Roadmap 2015</i> [41]
USA	27	4,1 (2018) [42]	2,94 (2018) [43]	-
Jepang	6	5,4 (2018) [44]	3,56 (2018) [45]	<i>i-Construction</i> [26]
Korea	1	10 (2015) [46]	4,81 (2018) [47]	<i>Smart Construction 2025</i> [48]
Indonesia	72	10,36 (2018) [49]	0,28 (2018) [50]	-

5. SIMPULAN

Berdasarkan hasil kajian literatur, dapat disimpulkan bahwa Indonesia masih tertinggal dalam penggunaan IoT di industri konstruksi. Beberapa alasan yang mendukung simpulan ini adalah karena IoT masih tergolong baru masuk ke Indonesia, dan alokasi anggaran biaya untuk sektor penelitian dan pengembangan relatif lebih kecil dibandingkan negara-negara lainnya. Sejauh ini, penggunaan IoT pada industri konstruksi di Indonesia yang berhasil ditemukan diinisiasi oleh PT Waskita Karya (Persero) Tbk. dalam penggunaan *hololens* sebagai media komunikasi dan koordinasi digital konstruksi yang dikaitkan dengan pendekatan BIM. Kajian literatur ini juga berhasil mengidentifikasi bahwa negara Cina merupakan salah satu negara termaju dalam penerapan IoT di industri konstruksi, yang dibuktikan dari jumlah publikasi karya ilmiahnya dibandingkan negara lain. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat kepada para pelaku konstruksi sebagai referensi dan dasar pertimbangan untuk kebutuhan penerapan IoT di Indonesia ke depannya. Penelitian dapat dilanjutkan dengan memastikan kondisi eksisting di Indonesia menggunakan data primer yang dapat diperoleh dari hasil penyebaran kuesioner maupun wawancara dengan para pihak terkait di industri konstruksi Indonesia.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] PBC Today, "Which countries are investing the most in construction?," 25 Maret 2019. [Online]. Available: <https://www.pbctoday.co.uk/news/planning-construction-news/countries-investing-construction/54507/>.
- [2] P. Nugroho, "Peningkatan Produktivitas Konstruksi Melalui Pemilihan Metode Konstruksi," *Dinamika Rekayasa*, vol. 8, no. 1, pp. 25-30, 2012.
- [3] D. Dewandaru, "Perancangan Big Data Jalan dan Jembatan untuk Mendukung Konstruksi 4.0," *Jurnal HPJI*, vol. 6, no. 2, pp. 83-92, 2020.

- [4] M. A. Ghufron, "Revolusi Industri 4.0: Tantangan, Peluang dan Solusi Bagi Dunia Pendidikan," in *Seminar Nasional dan Diskusi Panel Multidisiplin Hasil Penelitian & Pengabdian kepada Masyarakat*, Jakarta, 2018.
- [5] M. Ayu, "Perkembangan dan Penggunaan IoT di Indonesia Tahun 2021 Diprediksi Meningkat," 17 Oktober 2020. [Online]. Available: <https://www.cloudcomputing.id/berita/perkembangan-dan-penggunaan-iot-di-indonesia>.
- [6] K. Ashton, "That 'Internet of Things' Thing," 22 Juni 2009. [Online]. Available: <http://www.rfidjournal.com/articles/view?4986>.
- [7] S. Madakam, R. Ramaswamy and S. Tripathi, "Internet of Things (IoT): A Literature Review," *Journal of Computer and Communications*, vol. 3, no. 3, pp. 164-173, 2015.
- [8] S. Mahmud, L. Assan and R. Islam, "Potentials of Internet of Things (IoT) in Malaysian Construction Industry," *Annals of Emerging Technologies in Computing (AETiC)*, vol. 2, no. 4, pp. 44-52, 2018.
- [9] R. Aggarwal and M. Das, "RFID security in the context of "internet of things"," in *Internasional Conference on Security of Internet of Things*, 2012.
- [10] L. Zhao, Z. Liu and J. Mbachu, "Development of Intelligent Prefabs Using IoT Technology to Improve the Performance of Prefabricated Construction Projects," *Sensors*, vol. 19, 2019.
- [11] G. Matharu, P. Upadhyay and L. Chaudhary, "The Internet of Things: Challenges & Security Issues," in *International Conference on Emerging Technologies (ICET)*, Islamabad, 2014.
- [12] F. Ibrahim, M. Esa and R. Rahman, "The Adoption of IOT in the Malaysian Construction Industry: Towards Construction 4.0," *International Journal of Sustainable Construction Engineering and Technology*, vol. 12, no. 1, pp. 56-67, 2021.
- [13] Projects Management Institute, *A Guide to The Projects Management Body of Knowledge (PMBOK® guide)*. -- Fifth edition., Newton Square: Projects Management Institute, Inc., 2013.
- [14] T. Osunsanmi, C. Aigbavboa and A. Oke, "Construction 4.0: The Future of the Construction Industry in South Africa," *International Journal of Civil and Environmental Engineering*, vol. 12, no. 3, pp. 206-212, 2018.
- [15] J. Louis and P. Dunston, "Integrating IoT into operational workflows for real-time and automated decision-making in repetitive construction operations," *Automation in Construction*, vol. 94, pp. 317-327, 2018.
- [16] UNESCO Institute for Statistics, "How Much Does Your Country Invest in R&D?," 2022. [Online]. Available: <http://uis.unesco.org/apps/visualisations/research-and-development-spending/>.
- [17] L. Ding, C. Zhou, Q. Deng, H. Luo, X. Ye, Y. Ni and P. Guo, "Real-time Safety Early Warning System for Cross Passage Construction in Yangtze Riverbed Metro Tunnel Based on The Internet of Things," *Automation in Construction*, vol. 36, pp. 25-37, 2013.
- [18] W. Tian, J. Meng, X. Zhong and X. Tan, "Intelligent Early Warning System for Construction Safety of Excavations Adjacent to Existing Metro Tunnels," *Advances in Civil Engineering*, vol. 2021, 2021.
- [19] G. Xu, M. Li, C. Chen and Y. Wei, "Cloud Asset-Enabled Integrated IoT Platform for Lean Prefabricated Construction," *Automation in Construction*, vol. 93, pp. 123-134, 2018.
- [20] R. O'Byrne, "This is How Blockchain can Transform The Supply Chain," 15 Oktober 2019. [Online]. Available: <https://trans.info/en/how-blockchain-can-transform-the-supply-chain-163104>.
- [21] J. Manyika, M. Chui, M. Miremadi, J. Bughin, K. George, P. Willmott and M. Dewhurst, "A Future that Works: AI, Automation, Employment, and Productivity," Januari 2017. [Online].

- Available: <https://www.jbs.cam.ac.uk/wp-content/uploads/2020/08/170622-slides-manyika.pdf>.
- [22] The Infrastructure and Projects Authority, "Government Construction Strategy 2016-20," Maret 2016. [Online]. Available: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/510354/Government_Construction_Strategy_2016-20.pdf.
- [23] A. Zulkifli, N. Yahya, E. Azmi and J. Diah, "Site Inspection Practice in Construction Projects in Kuala Lumpur, Malaysia," in *AIP Conference*, 2020.
- [24] A. Michaels, "Will BIM Become the Standard in the USA?," 18 Februari 2021. [Online]. Available: <https://bcm.nacm.org/index.php/blog/will-bim-become-the-standard-in-the-usa>.
- [25] R. Clement, "The history of Smart Construction," 16 Oktober 2019. [Online]. Available: <https://www.komatsu.eu/en/news/the-history-of-smart-construction>.
- [26] K. Tateyama, "A New Stage of Construction in Japan – i-Construction," Juni 2017. [Online]. Available: https://www.press-in.org/_upload/files/Newsletter/topics/special%20contribution/special%20contribution%20by%20Dr.%20Tateyama%20%20.pdf.
- [27] I. Kim, "Building and Construction Research and Implementation Trend in Korea," 18 Desember 2019. [Online]. Available: https://ciexpo.cic.hk/Content/files/BAF_KIM.pdf.
- [28] H. Seo, "Government Aims to Make "Smart Construction" Possible by 2030," 1 November 2018. [Online]. Available: <http://koreabizwire.com/government-aims-to-make-smart-construction-possible-by-2030/126823>.
- [29] Pulse, "Korea Kicks Off \$173 Mn State Project to Develop Smart Building Technologies," 20 Januari 2020. [Online]. Available: <https://pulsenews.co.kr/view.php?year=2020&no=65601>.
- [30] L. Jatmiko, "Nilai Pasar IoT Indonesia Bisa Tembus Rp350 T, Ini Alasannya," 4 Januari 2021. [Online]. Available: <https://teknologi.bisnis.com/read/20210104/84/1338349/nilai-pasar-iot-indonesia-bisa-tembus-rp350-t-ini-alasannya>.
- [31] M. Basari, "Waskita Kembangkan Teknologi IoT dan Wearable Device HoloLens di Proyek," 17 Juli 2019. [Online]. Available: <https://teknologi.bisnis.com/read/20190717/84/1125568/waskita-kembangkan-teknologi-iot-dan-wearable-device-hololens-di-proyek>.
- [32] K. Schwab, *The Global Competitiveness Report*, Jenewa: World Economic Forum, 2019.
- [33] Statista Research Department, "GDP value added of construction industry in China 2011-2020," 27 Januari 2022. [Online]. Available: <https://www.statista.com/statistics/1283570/china-construction-industry-s-share-of-gdp/#:~:text=GDP%20value%20added%20of%20construction%20industry%20in%20China%202011-2020&text=In%202020%2C%20the%20construction%20industry,of%20China%E2%80%99s%20gross%20do>.
- [34] C. Textor, "Ratio of R&D investment to GDP in China 2008-2018," 8 Oktober 2021. [Online]. Available: <https://www.statista.com/statistics/915608/china-research-and-development-spending-ratio-to-gdp/>.
- [35] Chinese Parliament & The National People's Congress, "Outline of the 14th Five-Year Plan (2021-2025) for National Economic and Social Development and Vision 2035 of the People's Republic of China," 9 Agustus 2021. [Online]. Available: https://www.fujian.gov.cn/english/news/202108/t20210809_5665713.htm.
- [36] C. Rhodes, "Construction industry: statistics and policy," 16 Desember 2019. [Online]. Available: <https://researchbriefings.files.parliament.uk/documents/SN01432/SN01432.pdf>.

- [37] United Nations, "Gross domestic expenditure on research & development," in *Statistical Yearbook 2013*, United Nations, 2016, pp. 455-462.
- [38] HM Government, "Construction 2005: Industrial Strategy - Government and Industry in Partnership," 2013. [Online]. Available: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/210099/bis-13-955-construction-2025-industrial-strategy.pdf.
- [39] W. Alaloul, M. Musarat, M. Rabbani, Q. Iqbal, A. Maqsoom and W. Farooq, "Construction Sector Contribution to Economic Stability: Malaysian GDP Distribution," *Sustainability*, vol. 13, no. 9, 2021.
- [40] Knoema, "Malaysia - R&D expenditure as a share of GDP," 2018. [Online]. Available: <https://knoema.com/atlas/Malaysia/topics/Research-and-Development/RandD-Expenditure/RandD-expenditure-as-a-share-of-GDP#:~:text=In%202018%2C%20R%26D%20expenditure%20as,average%20annual%20rate%20of%2014.35%25..>
- [41] MIMOS Berhad, National Internet of Things (IoT) Strategic Roadmap: A Summary, Kuala Lumpur: MIMOS BERHAD, 2015.
- [42] Statista Research Department, "Value added to GDP by construction industry in the U.S. 2000-2020," 10 September 2021. [Online]. Available: <https://www.statista.com/statistics/785445/value-added-by-us-construction/>.
- [43] M. Boroush, "U.S. R&D Increased by \$51 Billion, to \$606 Billion, in 2018; Estimate for 2019 Indicates a Further Rise to \$656 Billion," 13 April 2021. [Online]. Available: <https://nces.nsf.gov/pubs/nsf21324>.
- [44] L. Kettenhofen, "Contribution of construction to the nominal GDP in Japan 2011-2020," 11 Januari 2022. [Online]. Available: <https://www.statista.com/statistics/1175628/japan-contribution-of-construction-to-nominal-gdp/>.
- [45] Statista Research Department, "R&D expenditures Japan FY 2010-2019," 1 November 2021. [Online]. Available: <https://www.statista.com/statistics/613735/japan-research-and-development-expenditures/#:~:text=R%26D%20expenditures%20Japan%20FY%202010-2019&text=The%20ratio%20of%20R%26D%20expenditures,in%20the%20measured%20time%20period..>
- [46] Ministry of Land Infrastructure and Transport, *10% of Gross Domestic Product (GDP) Construction Industry (in Korean)*, 2015.
- [47] S. Fleming, "These Countries Spend the Largest Proportion of GDP on R&D," 16 November 2020. [Online]. Available: <https://www.weforum.org/agenda/2020/11/countries-spending-research-development-gdp/>.
- [48] Center for Smart Construction Technology, *Smart Construction Global Insight: Construction Automation and Robotics*, Hwaseong: Center for Smart Construction Technology, 2021.
- [49] Badan Pusat Statistik, *Konstruksi Dalam Angka 2018*, Jakarta: Badan Pusat Statistik, 2018.
- [50] F. Nurhakim, "Soal Dana R&D di Indonesia, Kemenko Marves: Masih Kecil Kita," 3 September 2021. [Online]. Available: <https://www.gatra.com/news-521674-kesehatan-soal-dana-rd-di-indonesia-kemenko-marves-masih-kecil-kita.html>.