

# KONSTRUKSI 4.0: TANTANGAN DAN INISIATIF PENERAPAN DI INDONESIA

**Jati Utomo Dwi Hatmoko**

Departemen Teknik Sipil  
Universitas Diponegoro

**Adi Pandarangga**

Alumni Program Doktor Teknik Sipil  
Universitas Diponegoro,  
Prodi Ekonomi Pembangunan  
Universitas Kristen Wira Wacana Sumba

## 1.1 PENDAHULUAN

Penerapan revolusi industri 4.0 di Indonesia menjadi momentum untuk merevitalisasi sektor industri dan mempercepat pencapaian tujuan menjadi 10 negara dengan tingkat ekonomi terbesar di dunia. Merespons era Industri 4.0, Kementerian Perindustrian telah menyiapkan konsep “Making Indonesia 4.0” untuk penerapan strategi dan roadmap Revolusi Industri 4.0 di Indonesia. Inisiatif ini akan menyiapkan Indonesia untuk memperoleh peluang yang ditawarkan Industri 4.0 dan menjadi prioritas nasional yang akan dicapai pada 2030 (Kemenperin, 2018).

Kondisi ekonomi nasional yang menguat dengan naiknya tingkat belanja konsumen serta perubahan ekonomi nasional yang berbasis sumber daya alam akan menjadi ekonomi berbasis nilai tambah. Hal ini juga ditunjang dengan bonus demografi akibat banyaknya penduduk kategori usia muda dan produktif. Kementerian Perindustrian (2018) menambahkan bahwa akan adanya perubahan menuju ekonomi berbasis jasa, di mana pada 2016 kontribusi industri adalah 22% setelah sebelumnya mencapai titik tertinggi 26% pada 2001. Kondisi ini diperkirakan akan menurun hingga 2030 apabila tidak ada intervensi apa pun. BPS (2019) memperkirakan akan mengalami peningkatan pertumbuhan penduduk sebanyak 30 juta sehingga menjadi penting bagi pemerintah untuk membuka lapangan pekerjaan dan merevitalisasi industri.

Dukungan pemerintah pusat dalam implementasi Roadmap Industri 4.0 turut memengaruhi sektor konstruksi untuk berbenah dan turut beradaptasi. Kementerian PUPR (2019) mengidentifikasi tantangan Industri 4.0 secara umum berupa disparitas antara kawasan barat dan kawasan timur Indonesia, daya saing nasional yang belum kuat, urbanisasi yang tinggi dan pemanfaatan sumber daya yang belum optimal. Sementara secara khusus, sektor konstruksi menghadapi beberapa hal yakni terkait material dan peralatan konstruksi (MPK) dan Teknologi Konstruksi (*supply demand material* dan peralatan konstruksi masih belum berimbang, teknologi yang semakin berkembang, tetapi belum semuanya diterapkan). Terkait sumber daya manusia, jumlah tenaga kerja konstruksi yang bersertifikat hanya 7,6% dari 8,3 juta tenaga kerja konstruksi nasional, 75% tenaga kerja konstruksi pendidikannya SMA ke bawah dan terjadi gap generasi.

Anggaran infrastruktur nasional semakin bertambah, pada 2015–2017 sebesar 14–18% dari APBN nasional, periode sebelumnya hanya 7–11%; APBN hanya mampu memenuhi 41,3% dari kebutuhan anggaran infrastruktur, sisanya dari swasta dan badan usaha. Di sisi lain, tuntutan mutu akan produk konstruksi yang berkualitas semakin tinggi; kecelakaan konstruksi dan kegagalan bangunan masih marak terjadi, pada 2017–2018 terdapat 18 kejadian. Terkait keberlanjutan, terfragmentasinya tahapan penyelenggaraan konstruksi.

Undang-Undang No.2 Tahun 2017 Tentang Jasa Konstruksi Pasal 83 memuat dukungan terhadap pengembangan teknologi melalui pengaturan Sistem Informasi Jasa Konstruksi bahwa “*Untuk menyediakan data dan informasi yang akurat dan terintegrasi dalam penyelenggaraan jasa konstruksi dibentuk suatu sistem informasi yang terintegrasi*”. Selanjutnya, dalam menyediakan data dan informasi yang akurat dan terintegrasi dikelola oleh Pemerintah Pusat dan dibina Pemerintah Pusat dan Pemerintah Daerah. Dengan demikian dipastikan pemerintah berperan penting dalam mendorong perkembangan sektor konstruksi untuk berperan dalam era digital atau Industri 4.0.

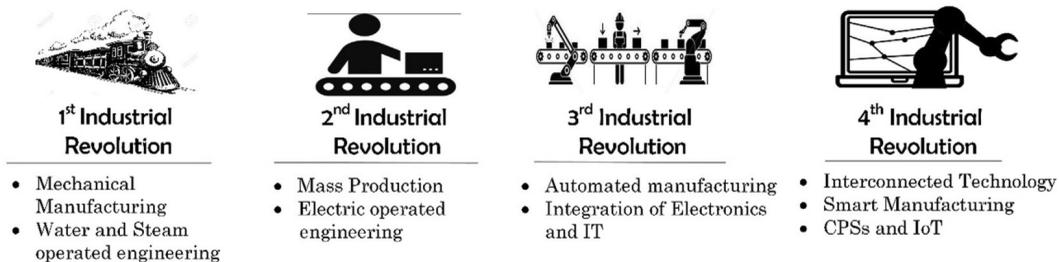
Tujuan penulisan ini untuk mengisi gap literatur dengan menyediakan beberapa tren kajian terbaru terkait isu Industri 4.0 dan menyajikan perkembangan adopsinya pada industri-industri konstruksi nasional. Selain itu disajikan gambaran tantangan dan peluang dari berbagai perspektif dan usulan inisiatif yang perlu dilakukan pemerintah bagi pengembangan konstruksi 4.0 serta perbaikan industri konstruksi nasional yang belum atau sulit untuk berkembang. Pada akhirnya tulisan ini diharapkan menjadi panduan dan motivasi bagi kajian lanjutan terkait konstruksi 4.0 di Indonesia yang masih relatif baru dan penerapannya dalam kebijakan pemerintah.

## 1.2 KONSEP INDUSTRI 4.0

Gagasan dan terminologi penggunaan istilah Industri 4.0 diajukan oleh Kagermann dkk. pada 2011 di Jerman sebagai bagian dari proposal baru kebijakan ekonomi atau strategi teknologi tinggi Jerman yang akan datang (Piccarozzi *et al.*, 2018 dan Muhuri *et al.*, 2019). Melalui sebuah program strategis untuk mengembangkan sistem produksi dengan tujuan meningkatkan efisiensi dan produktivitas industri nasional (Kagermann *et al.*, 2013). Sebagai suatu tahapan baru pada sistem manufaktur, konsep ini akan memberikan nilai tambah sepanjang siklus hidup produk melalui pengintegrasian seperangkat teknologi baru yang bersifat konvergen. Semua aktivitas kerja di sepanjang rantai nilai (value chain) akan didukung dan digerakkan dengan teknologi informasi dan komunikasi

keseluruhan aktivitas dengan pendekatan cerdas (smart working) yang akhirnya akan mengubah peran manusia pada sistem produksi manufaktur, baik secara teknis dan sosial.

Industri 4.0 berasal dari konsep manufaktur cerdas yang merupakan sistem adaptif yang melayani berbagai macam produk dan kondisi yang sering berubah-ubah. Dengan demikian akan terjadi peningkatan produktifitas, kualitas dan fleksibilitas terhadap pemenuhan kebutuhan konsumen bersifat khusus (customized) dan masal secara berkelanjutan. Revolusi industri 4.0 ini merupakan fenomena yang akan terus bergulir di masa mendatang dan akan terus mengalami berbagai kemajuan (Rüßmann *et al.*, 2015 dan Muhuri *et al.*, 2019), secara ringkas disajikan pada Gambar 1.



**Gambar 1** Evolusi dari Revolusi Industri (Muhuri *et al.*, 2019)

Berbagai kajian terkait Industri 4.0 masih merupakan penelitian awal termasuk di Indonesia. Padahal produk dan jasa layanan digitalisasi ke depannya akan menjadi familier pada ekosistem industri yang sehat dan memiliki daya saing yang tinggi pula. Namun, persyaratan dan teknologi canggih ini telah membuat sistem penyajiannya menjadi lebih kompleks dan menyebabkan banyak tantangan yang tidak ada sebelumnya seperti keamanan informasi, keandalan dan integritas (Stock dan Seliger, 2016).

Empat komponen penggerak utama dalam Industri 4.0 adalah *Internet of Things* (IoT), *Industrial Internet of Things* (IIoT), manufaktur berbasis awan atau

*cloud* dan *smart* manufaktur (Sihn *et al.*, 2016). Vaidya *et al.* (2018) menawarkan sembilan (9) komponen yang akan menjadi pilar Industri 4.0 dan diadaptasi pada Industri Konstruksi 4.0. Kesembilan komponen tersebut, yaitu (1) data besar (*big data*) dan analisis; (2) robot otonom; (3) simulasi; (4) integrasi sistem: integrasi sistem secara horizontal dan vertikal; (5) *internet of things* (IoT); (6) keamanan siber dan *cyber physical systems* (CPS) atau sistem fisik siber; (7) sistem *cloud*; (8) produk aditif (*additive manufacturing*); dan (9) realitas ditambah (*augmented reality*). Kesembilan komponen ini diharapkan akan mentransformasikan sebuah industri konstruksi dari produk yang terisolasi secara fisik menjadi terintegrasi, digitalisasi dan berproduksi secara optimal. Perubahan ini akan mengarahkan sektor konstruksi menjadi lebih efisiensi dan hubungan yang secara tradisional antara pemasok, produsen, dan pelanggan serta antara manusia dan proyek.

### **1.3 REVOLUSI INDUSTRI 4.0 PADA INDUSTRI KONSTRUKSI**

Inisiatif penerapan Industri 4.0 pada sektor konstruksi atau Industri Konstruksi 4.0 (Berger, 2015; Spence, 2018; FIEC, 2019) diharapkan dapat mendukung perusahaan meningkatkan produktivitas, mengurangi keterlambatan, menghemat biaya, mengelola kompleksitas, meningkatkan keamanan, kualitas dan efisiensi sumber daya (García de Soto *et al.*, 2018; Ghaffar *et al.*, 2018). Menurut laporan The Boston Consulting Group (BCG), (2016), selama 10 tahun penggunaan digitalisasi secara penuh pada pekerjaan konstruksi non perumahan bahwa penggunaan digitalisasi secara rutin telah menekan biaya dari 13% hingga 21% pada fase *engineering* dan konstruksi dan pada fase operasional dari 10% hingga 17%. Ditambahkan lagi oleh laporan Berger (2015) bahwa 93% *stakeholder* setuju jika digitalisasi membawa pengaruh pada setiap proses, tetapi kurang dari 6% perusahaan konstruksi menggunakan secara penuh proses digital pada proses perencanaan.

Dimensi perubahan yang terjadi di sektor konstruksi menjadi sebuah transformasi yang dianalogikan sebagai industri konstruksi 4.0 atau konstruksi 4.0 (FIEC, 2019; Berger, 2015; Spence, 2018). Transformasi ini memungkinkan sebuah perusahaan konstruksi untuk meningkatkan produktivitas, mengurangi keterlambatan proyek dan pemborosan biaya, mengelola kompleksitas, dan meningkatkan keselamatan, kualitas serta efisiensi sumber daya (Ghaffar *et al.*, 2018). Proses digitalisasi yang akan terjadi pada industri konstruksi secara otomatis akan membawa sektor ini pada tahap yang lebih tinggi dari sebelumnya sebagai sebuah industri. Beberapa tahun ini proses digitalisasi yang telah dahulu familiar pada sektor konstruksi, yakni penerapan BIM (*Building Information Modeling*). Proses ini sebagai sistem pemodelan informasi bangunan yang dapat menghubungkan sistem bangunan secara virtual dan aktual. BIM merupakan perangkat yang berbasis nD (*nD-based tool*), yang dirancang untuk mengintegrasikan seluruh informasi bangunan di sepanjang siklus hidup bangunan, yakni dari tahap desain, konstruksi, operasi dan pemeliharaan, dan untuk digunakan kembali atau *reuse* ataupun penghancuran/*demolotion* (Liu *et al.*, 2017; García de Soto *et al.*, 2018; Oraee *et al.*, 2017; Santos *et al.*, 2019).

Perangkat BIM akan digunakan bersama dengan realitas ditambah atau *augmented reality* untuk tujuan meningkatkan pengambilan keputusan, memungkinkan perencana memvisualisasikan desain produk konstruksi yang cocok sebelum pekerjaan konstruksi tersebut dilaksanakan. Tujuannya adalah untuk memetakan dan mengelola titik konflik atau potensi *error* pada elemen konstruksi, memastikan keamanan struktur selama pekerjaan konstruksi berlangsung dan tentunya memastikan otomatisasi proses pekerjaan berjalan lancar (Hu & Zhang, 2011; Zhang *et al.*, 2013; Davtalab *et al.*, 2018). BIM juga akan mengoptimalkan kinerja konstruksi melalui efisiensi penggunaan energi dan penggunaan sensor seperti termografi untuk mendeteksi kondisi lapangan (Kota *et al.*, 2014; Rahmani *et al.*, 2015; Natephra *et al.*, 2017; Craveiro *et al.*, 2018) serta yang tidak kalah penting, yakni mengembangkan sistem kerja secara kolaborasi terhadap tim yang terlibat dalam pekerjaan tersebut (Gerrish *et al.*, 2017; Habibi, 2017). Pada tahapan perencanaan seperti survei lokasi, penggunaan teknologi laser 3D memungkinkan desainer untuk memetakan dan menangkap secara digital

## KONSTRUKSI 4.0: TANTANGAN DAN INISIATIF PENERAPAN DI INDONESIA

(*scanning*) kondisi lapangan seperti dimensinya dan hubungan secara spasial antarobjek di lapangan seperti bangunan eksisting, utilitas perpipaan, saluran dan utilitas eksisting yang telah ada. Keseluruhan proses digitalisasi objek ini akan diunggah oleh perangkat desain untuk dikerjakan secara bersama-sama dalam tim BIM (Virtanen *et al.*, 2014; Xu *et al.*, 2017).

Birje *et al.*, (2017) menguraikan bahwa pengintegrasian teknologi komputasi *cloud* atau awan dengan BIM memungkinkan pemegang keputusan pada proyek konstruksi dapat bekerja secara *real time* dan dapat berkolaborasi walaupun dengan lokasi yang berbeda. Chuang *et al.* (2017) dan Shawish *et al.* (2013) menambahkan bahwa berbagai informasi tersebut akan disimpan secara permanen dalam sistem *cloud* dan dapat digunakan atau dipanggil sewaktu-waktu. Data *Cloud-BIM* ini dapat diakses melalui perangkat seluler *smartphone* dan *tablet* ataupun PC sehingga konsekuensi dari integrasi ini memungkinkan akses informasi yang selalu diperbarui dan tepat waktu, pada akhirnya dapat meningkatkan proses pengambilan keputusan dan mempercepat waktu pengiriman material dan peralatan ke lokasi proyek (Dinh *et al.*, 2011; Wong *et al.*, 2014; Gayathri & Srinivas 2014; Matthews *et al.*, 2015).

Potensi pengembangan teknologi selain BIM yang dapat membantu kinerja pekerjaan konstruksi di masa depan adalah penggunaan lanjutan dari internet atau dikenal dengan IoT (*Internet of Things*). IoT berkaitan erat dengan sistem di dalam jaringan internet yang terhubung melalui wireless dan sistem *cloud* serta terintegrasi atau terhubung dengan sistem sensor di lokasi proyek (Chatziantoniou *et al.*, 2011; Lopez Research, 2014; Stergiou *et al.*, 2018; Rott, 2019). Penggunaan IoT dapat pula meningkatkan Kesehatan Keselamatan Kerja (K3) di lokasi proyek dan di masa depan juga diharapkan teknologi ini dapat menghubungkan berbagai aksesoris produk kecil hingga mesin atau peralatan besar (Atzori *et al.*, 2010; Ammar *et al.*, 2018; Khan & Salah, 2018). Pada sektor konstruksi sendiri, aplikasi IoT dapat mentransformasi sebuah bangunan yang baru dibangun hingga masa operasional dan pemeliharaannya. Selanjutnya dari sisi kenyamanan pengguna, keamanan pengguna, dan berbagai solusi penghematan energi dalam bangunan, optimalisasi pergerakan di dalam bangunan atau bahkan pada saat emergensi sekalipun (Wei & Li, 2011; IBM, 2019). Hal yang lebih menarik lagi, kemampuan

teknologi ini untuk mendiagnosis data bangunan yang banyak dan beragam untuk disajikan secara *real time*, sehingga memudahkan pengambilan keputusan pemeliharaan/operasional oleh mekanik atau elektrik, misalnya data sistem perpipaan, jaringan listrik, dan utilitas lain yang terkait sistem pemanas, ventilasi dan pendingin udara. (Woodhead *et al.*, 2018; Louis & Dunston, 2018; Dave *et al.*, 2018).

Kemunculan teknologi IoT, sistem komputasi *cloud* dan BIM tentunya akan menghasilkan sejumlah besar data atau Big Data yang harus ditangani juga dengan teknologi Big Data (Kapliński *et al.*, 2016; Bilal *et al.*, 2016; Alavi & Gandomi, 2017). Namun, tim IBM *Security* (2016) mengingatkan bahwa yang tidak kalah penting dalam mengelola dan menangani hal yang sensitif dari data yang besar tersebut adalah bagaimana melindunginya terhadap keamanan siber. Namun, terlepas dari semua itu di masa depan, hal yang paling memberi tantangan dan juga mengkhawatirkan adalah dalam menjalankan tugas atau pekerjaan yang berbahaya dan bersinggungan dengan keselamatan serta pekerjaan berulang akan dapat dilakukan oleh robot (Trevelyan *et al.*, 2016, Ben-Ari & Mondada, 2017 Lublasser *et al.*, 2018). Lebih lanjut, menurut Oh *et al.*, (2015) bahwa robot tersebut akan melakukan transfer data antara satu dan yang lainnya dan memiliki kemampuan untuk belajar seperti manusia.

Di lain pihak, perkembangan pesawat tanpa awak atau *Unmanned Aerial Vehicles* (UAV), biasa dikenal dengan drone, akan semakin banyak digunakan pada sektor konstruksi (Dupont *et al.*, 2017; McCabe *et al.*, 2017; Tatum & Liu, 2017). Penggunaan ini tentunya sesuai dengan tantangan yang dihadapi pada industri konstruksi dengan jenis proyek temporal dan yang selalu berpindah tempat ataupun kegiatan produksi material dan produksi bangunan terletak secara terpisah (seperti di Indonesia). Teknologi ini memiliki kemampuan menangkap dan menyimpan sejumlah besar data dan memiliki kemampuan seperti kamera, pemindai dari laser dan teknologi RFID (*Radio-Frequency Identification*) (Caterpillar, 2015; Hamledari, *et al.*, 2017). UAV juga mampu melacak perkembangan pekerjaan konstruksi, melakukan penilaian dan melakukan tugas-tugas yang dianggap berbahaya bagi

manusia di lokasi proyek. Pekerjaan konstruksi di lokasi yang rumit secara posisi yang membutuhkan keahlian tukang di lokasi terbuka, penggunaan kombinasi robot dan *drone* akan merakit elemen bangunan dan produk aditif dari bangunan yang baru saja diujicobakan di laboratorium (Latteur *et al.*, 2016; Dams *et al.*, 2017; Goessens, *et al.*, 2018). Hal yang lebih menarik dalam membangun kemitraan, aplikasi pemodelan seperti proses manufaktur akan menciptakan semangat kerja kolaboratif di antara pemangku kepentingan, inovator, pelaku dalam rantai pasok konstruksi (BIMCo, 2017; Büyüközkan & Göçer, 2018; Castagnino, *et al.*, 2018; Iyengar, 2018).

#### **1.4 TANTANGAN DAN ISU PADA INDUSTRI KONSTRUKSI 4.0**

Penemuan teknologi baru telah membuat pengembangan sebuah industri akan mengalami proses yang dinamis dengan diawali dengan sistem mekanis hingga melalui sistem perakitan otomatis dan bersifat responsif, adaptif, dan mengikuti tuntutan pasar yang dinamis pula (Wang, Wan, Li, & Zhang, 2016). Berbagai tantangan besar yang akan mendasari implementasi industri 4.0 dijelaskan secara umum oleh Wang *et al.*, (2016); Vaidya *et al.*, (2018); Mittal, *et al.*, (2018). Isu secara umum tersebut berupa: sistem pengambilan keputusan cerdas dan mekanisme negosiasi; protokol IWN (*Industrial Wireless Network*) berkecepatan tinggi; produksi data besar yang spesifik dan analisisnya; sistem pemodelan dan analisisnya; isu keamanan siber; isu modulasi dan artifak fisik yang fleksibel dan isu investasi.

Pada sektor konstruksi sendiri, Oesterreich dan Teuteberg (2016) dan Alaloul *et al.*, (2019) mengajukan kerangka kerja (*frame work*) PESTEL atau analisis PESTEL untuk mengidentifikasi kekuatan-kekuatan eksternal (lingkungan makro) yang memengaruhi suatu industri atau perusahaan. Analisis ini memungkinkan pemetaan akan ancaman dan peluang pengembangan suatu industri. Kerangka perspektifnya meliputi: *political* (P), *economic* (E), *social* (S), *technological* (T), *environmental* (E) and *legal* (L). Tabel 1 dan Tabel 2 memuat rangkuman dan gabungan temuan tantangan dan permasalahan yang masih belum terpecahkan dalam mentransformasikan industri digital dalam sektor konstruksi.

Tabel 1 Peluang Pemanfaatan Industri 4.0 pada Industri Konstruksi

Implikasi 1: Kemanfaatan	Perspektif					
	P	E	S	T	E	L
<b>Kompetisi global.</b> Perusahaan konstruksi lokal atau daerah dapat meningkatkan daya saingnya hingga skala global dengan penggunaan teknologi paling mutakhir sehingga akhirnya akan memberikan kualitas dan hasil produk terbaik untuk dapat bersaing secara lokal dan global						
<b>Penghematan biaya:</b> Otomatisasi dari proses pekerjaan konvensional (padat karya/ <i>labour-intensive</i> ) melalui penggunaan robot atau otomatisasi aliran pekerjaan akan mengurangi biaya tenaga kerja. Selain itu, pelacakan secara otomatis peralatan dan material menggunakan sensor tertanam dapat membantu mengurangi biaya material dan transportasi.						
<b>Penghematan waktu:</b> Inovasi dan konsep teknologi manufaktur seperti Prefabrikasi atau <i>Additive Manufacturing</i> memungkinkan pekerjaan konstruksi bangunan dikerjakan dalam hitungan hari dan lebih cepat daripada metode konstruksi konvensional.						
<b>Pengiriman tepat waktu dan hemat biaya:</b> Di masa lalu, pengiriman pada proyek konstruksi yang tepat waktu dan sesuai biaya proyek telah terbukti menjadi pekerjaan dan tugas yang menantang bagi pelaku proyek. Penggunaan BIM dapat membantu mengurangi waktu pengiriman proyek dan menjaga proyek tetap sesuai anggaran yang direncanakan.						
<b>Meningkatkan kualitas:</b> Penggunaan BIM dan teknologi simulasi lainnya terbukti meningkatkan kualitas bangunan karena kesalahan dapat dihindari pada tahap awal dengan menyimulasikan seluruh proses konstruksi. Selain itu, analisis Big Data dapat membantu manajer proyek untuk membuat keputusan yang lebih efektif dan kecukupan informasi dengan berdasarkan data historis yang cukup.						

KONSTRUKSI 4.0: TANTANGAN DAN INISIATIF PENERAPAN DI INDONESIA

Implikasi 1: Kemanfaatan	Perspektif					
	P	E	S	T	E	L
<p><b>Meningkatkan kolaborasi dan komunikasi:</b> semakin banyaknya jumlah peserta atau pelaku proyek yang terlibat dalam setiap proyek konstruksi, maka penggunaan platform berbasis <i>cloud</i>, BIM atau aplikasi media sosial dapat secara efisien meningkatkan kolaborasi dan komunikasi lintas perusahaan secara geografis melalui <i>sharing</i> atau berbagi data, gambar dan berita.</p>						
<p><b>Meningkatkan hubungan dengan pelanggan:</b> Melalui penerapan teknologi simulasi seperti <i>Augmented Reality</i>, <i>Virtual Reality</i> dan <i>Mixed Reality</i> dengan mengombinasikan penggunaan perangkat mobile atau aplikasi komputasi yang sesuai, maka perusahaan konstruksi dapat memberikan keleluasaan bagi pemilik proyek menentukan detail dan desain bangunan sebelum dibangun. Dengan demikian, pelanggan dapat dilibatkan sejak dini pada proses perencanaan untuk melakukan kustomisasi yang lebih baik pada konstruksi bangunan.</p>						
<p><b>Meningkatkan keselamatan:</b> Sejumlah penelitian terdahulu terkait manajemen keselamatan telah menepatkan isu keselamatan menjadi masalah penting dalam dunia konstruksi. Lingkungan kerja sektor konstruksi merupakan salah satu lingkungan kerja yang paling tidak aman atau berbahaya dan dikenal dengan tingkat cedera dan angka kecelakaan kerja yang tinggi. Berbagai pendekatan dilakukan untuk meningkatkan keselamatan kerja konstruksi melalui pelatihan keselamatan virtual, penggunaan peta risiko untuk menghindari kecelakaan dan penggunaan teknologi seperti kacamata cerdas (<i>smart glasses</i>) atau helm pintar (<i>smart helmets</i>).</p>						
<p><b>Meningkatkan citra/image industri:</b> Industri konstruksi sendiri telah terkenal dengan lingkungan kerja yang keras dan tingkat digitalisasi yang rendah. Perusahaan konstruksi sering kali memiliki <i>image</i> tenaga kerja kasar dan pendidikan rendah (<i>labour intensive</i>) dan sulit untuk merekrut tenaga kerja andal pada lingkungan proyek. Oleh karena itu, transformasi digital pada seluruh sektor proyek dapat membantu meningkatkan citranya.</p>						

Implikasi 1: Kemanfaatan	Perspektif					
	P	E	S	T	E	L
<b>Keandalan dalam produktivitas.</b> Sistem teknologi yang terus disempurnakan akan memastikan sedikit/hampir tidak ada kesalahan dan memastikan adanya jaminan kualitas. Keputusan yang andal dapat dibuat dalam rangka mencapai produk yang lebih efektif/efisien melalui informasi yang memadai.						
<b>Meningkatkan keberlanjutan:</b> Sektor konstruksi merupakan penghasil emisi karbon dioksida yang tinggi dan hal ini disebabkan oleh konsumsi energinya dan tingkat limbah ( <i>waste</i> ) yang tinggi selama proses konstruksi. Untuk itu diperlukan penanganan masalah lingkungan untuk meminimalkan limbah konstruksi melalui penggunaan simulasi BIM yang memiliki beberapa alternatif desain yang ramah lingkungan.						
<b>Mempromosikan keberlanjutan.</b> Kemunculan berbagai metode kerja yang ramah lingkungan akan mengurangi konsumsi energi serta turut mempromosikan sistem kerja yang berkelanjutan. Tingkat limbah yang dihasilkan juga dapat dikendalikan untuk mencegah pencemaran terhadap lingkungan.						
<b>Terbangunnya kerangka sistem yang semakin mapan.</b> Semakin meluasnya penggunaan teknologi oleh seluruh elemen masyarakat secara tidak langsung akan memaksa sistem untuk menggunakan peraturan atau semacam regulasi yang mengurangi ketidakpastian implementasi.						

Keterangan: *Political* (P), *Economic* (E), *Social* (S), *Technological* (T), *Environmental* (E) and *Legal* (L)

KONSTRUKSI 4.0: TANTANGAN DAN INISIATIF PENERAPAN DI INDONESIA

Tabel 2 Tantangan Penerapan Industri 4.0 pada Industri Konstruksi

Implikasi 2: Tantangan	Perspektif					
	P	E	S	T	E	L
<p><b>Keraguan untuk mengadopsi:</b> Karena tingginya biaya investasi terhadap teknologi baru dan kemanfaatan yang belum pasti, perusahaan konstruksi diliputi keraguan untuk berinvestasi. Oleh karenanya, tantangan yang dihadapi adalah memotivasi perusahaan konstruksi untuk mengadopsi teknologi baru melalui pemberian insentif oleh pemerintah dalam adopsi teknologi seperti penggunaan BIM dan pendanaan penelitian.</p>						
<p><b>Tata kelola struktur usaha konstruksi.</b> Perusahaan yang mendukung sektor konstruksi dalam sebuah industri kebanyakan terdiri dari Usaha Kecil dan Menengah (UKM), badan usaha ini memiliki keterbatasan dalam menginvestasikan teknologi yang belum pasti keuntungannya. UKM ini sangat tergantung pada campur tangan (intervensi) pemerintah atau asosiasi-asosiasi yang membantu dan memberi dukungan pendanaan dan kerja sama yang kolaboratif.</p>						
<p><b>Implementasi berbiaya tinggi:</b> Investasi teknologi Industri 4.0 berbiaya tinggi dalam hal pengadaan peralatan, pelatihan dan pendidikan serta biaya konsultasi tambahan. Ketidakjelasan dalam manfaat, perkiraan penghematan biaya yang akan diperoleh akibat penggunaan teknologi, dan tidak konsistennya tolok ukur fiskal dapat menjadi bahan evaluasi pemanfaatan teknologi ini dalam pengembangan bisnis. Oleh karenanya, diperlukan pengembangan metode dan peralatan yang tepat untuk mengestimasi dan mengoptimalkan biaya dan manfaat yang akan diperoleh; serta diperlukan pembangunan kemitraan dalam asosiasi industri sejenis untuk membantu meningkatkan transparansi dan menekan biaya.</p>						

Implikasi 2: Tantangan	Perspektif					
	P	E	S	T	E	L
<p><b>Proses perubahan organisasi:</b> Pelaksanaan suatu teknologi baru dapat menempatkan suatu organisasi pada level yang baru dan sangat membutuhkan evaluasi ulang (<i>re-evaluation</i>) dan proses <i>re-engineering</i>. Bagi sebuah perusahaan konstruksi, pertanyaan utama yang perlu dijawab adalah bagaimana suatu perusahaan secara organisasi dapat menangani proses perubahan yang terjadi dan bagaimana mendesain ulang model proses bisnis di lingkungan yang baru. Sementara itu, kita mengetahui bahwa industri konstruksi merupakan industri yang <i>fragmented</i>, temporal, kompleks, dan menghasilkan produk unik.</p>						
<p><b>Transparansi finansial.</b> Implementasi teknologi yang semakin inovatif tentunya membutuhkan dana yang mahal dan mempertimbangkan ketidakpastian dalam pengembalian keuntungan investasi. Transparansi finansial dibutuhkan dalam sebuah investasi teknologi yang tinggi oleh perusahaan itu sendiri maupun oleh donatur.</p>						
<p><b>Kebutuhan akan keterampilan khusus:</b> Penggunaan teknologi baru membutuhkan tingkat pengetahuan khusus/tertentu. Biasanya kompetensi tenaga kerja konstruksi di lokasi pekerjaan yang membutuhkan peran teknologi maka dibutuhkan lagi pelatihan dan pengembangan staf/tenaga kerja. Hal ini karena tuntutan era industri 4.0 membutuhkan penyesuaian sistem kerja yang terintegrasi dan <i>real time</i> untuk memperbarui dan meningkatkan produktivitas di proyek. Oleh karena itu, tantangan terbesarnya adalah menciptakan dan mengembangkan kompetensi baru untuk menarik bakat baru, mendorong staf/karyawan berkolaborasi dan berbagi ide lewat lintas disiplin untuk terciptanya inovasi.</p>						

KONSTRUKSI 4.0: TANTANGAN DAN INISIATIF PENERAPAN DI INDONESIA

Implikasi 2: Tantangan	Perspektif					
	P	E	S	T	E	L
<p><b>Manajemen pengetahuan</b> (<i>Knowledge management</i>): karakteristik utama sektor konstruksi yang bersifat sementara dan terfragmentasi/terpisah-pisah dalam rantai nilai menjadi penyebab lemahnya pengodean atau lemah dalam <i>sharing</i> pengetahuan proyek dan kurangnya pengelolaan pengetahuan.</p> <p>Tantangan terbesar ini dapat diminimalisir dengan membangun standar manajemen pengetahuan dalam organisasi. Hal ini dapat dicapai melalui pemanfaatan dan penggunaan pengetahuan proyek dan pengumpulan data secara otomatis dan menempatkannya dalam data historis proyek yang ditangani dalam organisasi.</p>						
<p><b>Penerimaan terhadap perilaku dan budaya:</b> Sektor konstruksi merupakan sektor yang sangat resistan terhadap perubahan dan penerimaan suatu teknologi baru dan stafnya pun kurang mampu untuk beradaptasi terhadap perubahan perilaku dan budaya yang terlibat dalam proses konstruksi. Ketakutan terbesar karyawan adalah hilangnya pekerjaan karena adanya pekerjaan baru yang tergantung oleh mesin, komputer dan robot. Pada beberapa kasus lain, komunikasi dan pemanfaatan manajemen perubahan dapat menolong staf untuk beradaptasi dan kondisi penerimaan menjadi faktor kunci penentu keberhasilan dalam mengadopsi teknologi baru. Oleh karenanya, perusahaan dapat berperan sebagai <i>agen perubahan</i> selama proses adaptasi dan menanamkan ide-ide utama tentang perubahan yang dapat menolong staf menjadi bagian dari keseluruhan proses peningkatan kinerja perusahaan.</p>						
<p><b>Kurangnya standar baku dan referensi arsitektur teknologi:</b> Terlepas dari belum tercapainya kematangan dan kesesuaian penerapan Industri 4.0 di sektor konstruksi, seperti kekurangan standar penggunaan BIM dan beberapa protokol teknologi. Referensi arsitektur khusus Industri 4.0 ini dapat dibangun sesuai lingkungan spesifik industri konstruksi yang fokus pada strukturnya seperti proyek yang berbasis lokasi geografis, penyebaran tenaga kerja konstruksi, pemetaan material dan peralatan konstruksi serta jumlah perusahaan sesuai besar kecilnya yang terlibat dalam rantai pasoknya.</p>						

Implikasi 2: Tantangan	Perspektif					
	P	E	S	T	E	L
<p><b>Persyaratan yang tinggi untuk peralatan komputasi:</b> Proyek konstruksi sangat dipengaruhi oleh faktor-faktor eksternal, seperti cuaca, lalu lintas, dan lingkungannya. Perlu juga mempertimbangkan tingginya syarat fisik untuk peralatan komputasi pada lingkungan lokasi konstruksi yang kebanyakan berada di luar ruangan dan lokasi yang tersebar, berdebu, dan perbedaan temperatur atau kelembapan. Oleh karena itu, peralatan seluler atau teknologi harus dirancang untuk menghadapi guncangan, kejatuhan dan kelembapan.</p>						
<p><b>Keamanan dan perlindungan data:</b> Volume data, mobilitas, kolaborasi dan <i>sharing</i> informasi yang semakin meningkat dengan mitra eksternal/bisnis biasanya dengan menerapkan pendekatan BYOD (<i>Bring Your Own Device</i>) atau membawa sendiri perangkat, maka akan membutuhkan keamanan dan proteksi data. Perusahaan harus melindungi data dari akses yang tidak bertanggung jawab dan dari segala bentuk penyalahgunaan identitas yang berbasis awan/<i>cloud</i> (<i>cloud-based user-identity</i>), manajemen akses, manajemen perangkat, dan alat perlindungan data.</p>						
<p><b>Peningkatan jaringan komunikasi yang telah ada:</b> Penggunaan TIK sangat membutuhkan akses internet yang cepat dan andal di berbagai lokasi proyek konstruksi. Oleh karena itu, tantangan terbesar yang perlu diatasi dengan membangun konektivitas <i>broadband</i> yang andal atau konektivitas <i>bandwidth</i> tinggi dalam mendukung aplikasi teknologi yang dapat kolaborasi dan <i>mobile</i>.</p>						
<p><b>Proses organisasi.</b> Perubahan yang terjadi dalam proses organisasi (<i>horizontal</i>, <i>vertikal</i> dan <i>end-to-end</i> atau awal-akhir) secara tidak langsung akan mendistorsi berbagai proses keputusan organisasi. Oleh karenanya, berbagai praktik/pelaksanaan akan membutuhkan rancangan ulang untuk mengadaptasi perubahan baru yang terjadi dalam rangka kerja juga meningkatkan pertumbuhan organisasi.</p>						

KONSTRUKSI 4.0: TANTANGAN DAN INISIATIF PENERAPAN DI INDONESIA

Implikasi 2: Tantangan	Perspektif					
	P	E	S	T	E	L
<p><b>Kepatuhan terhadap peraturan/regulasi:</b> Segala sesuatu terkait proses keamanan dan manajemen sumber daya manusia (SDM) akan secara otomatis tercatat dan direkam termasuk juga data personal. Dalam beberapa kasus, terdapat persoalan/pelanggaran etika dan hukum terhadap pelacakan dan <i>monitoring</i> terhadap data karyawan dan pemanfaatan terhadap data yang telah direkam. Sebagai contoh di Jerman, pembatasan yang ketat terhadap pengalihan data perusahaan yang berisi informasi karyawan keluar negara Uni Eropa. Sebaiknya sebelum penerapan aspek pembatasan terkait privasi dan perlindungan data, perlu pertimbangan yang melibatkan pakar hukum dan TIK terhadap keseluruhan proses proyek.</p>						
<p><b>Ketidakpastian hukum dan kontrak:</b> Penggunaan aplikasi yang menghasilkan model seperti dalam BIM, siapakah kepemilikan sah dari model yang dibangun dan tanggung jawab hukum atas kesalahan/masalah dengan model yang terbangun. Integrasi dan kecepatan teknologi menimbulkan ketidakjelasan pemisahan tanggung jawab yang dipegang oleh masing-masing <i>stakeholder</i> sehingga berpotensi menimbulkan ketidakpastian hukum/regulasi.</p>						

Keterangan: *Political* (P), *Economic* (E), *Social* (S), *Technological* (T), *Environmental* (E) and *Legal* (L)

## 1.5 INISIATIF PENGEMBANGAN INDUSTRI KONSTRUKSI 4.0 NASIONAL

Berdasarkan uraian deskripsi dan penjelasan di atas, maka pemerintah Indonesia perlu sesegera mungkin melakukan pembenahan terhadap sektor konstruksi untuk menjadi industri konstruksi kelas dunia atau 10 ekonomi terbesar dunia (Kemenperin, 2018). Beberapa usulan yang dapat dijadikan pijakan dalam mengembangkan secara nasional Konstruksi 4.0 dapat dilakukan melalui beberapa kebijakan antara lain:

### 1.5.1 Memperbaiki Alur Aliran Material dan Peralatan Konstruksi

Disparitas antara wilayah Indonesia bagian barat dan timur yang tinggi ditandai dengan lebih berkembangnya aktivitas ekonomi di kawasan bagian barat dibandingkan bagian timur. Ketergantungan negara Indonesia pada impor bahan baku maupun komponen bernilai tinggi mendorong pemerintah untuk membangun sistem rantai pasok material dan peralatan konstruksi nasional dan daerah. Membangun sistem ini harus didukung oleh sistem informasi dan *big data* rantai pasok konstruksi nasional. Hal ini akan memperkuat produksi lokal konstruksi pada sektor hulu dan menengah melalui peningkatan kapasitas produksi dan percepatan adopsi teknologi. Rencana jangka panjang perlu dilakukan untuk memperbaiki alur aliran material dan peralatan konstruksi secara nasional dan menyusun strategi sumber material.

### 1.5.2 Desain Ulang Zona Industri

Dari berbagai zona industri yang telah dibangun, perlu dilakukan optimalisasi kebijakan dan penyesuaian peta jalan berbagai sektor dalam Making Indonesia 4.0 secara geografis, termasuk transportasi dan infrastruktur. Selanjutnya dilakukan penyusunan suatu roadmap zona industri lintas industri yang komprehensif berdasarkan hasil evaluasi berbagai zona industri eksisting dalam rangka optimalisasi penggunaan lahan.

### 1.5.3 Mengakomodasi Standar-Standar Keberlanjutan (*Sustainability*)

Walaupun terdapat kekhawatiran secara global terhadap isu-isu keberlanjutan di berbagai sektor, pemerintah Indonesia dapat melihat hal ini sebagai peluang untuk membangun industri berbasis teknologi bersih, energi terbarukan, biokimia, sampai mobil listrik. Untuk itu, perlu diupayakan pemenuhan terhadap persyaratan-persyaratan keberlanjutan di masa mendatang, termasuk identifikasi teknologi ramah lingkungan, serta penciptaan lingkungan yang semakin nyaman untuk berinvestasi secara berkelanjutan.

### 1.5.4 Memberdayakan Usaha Mikro Kecil Menengah (UMKM)

Hampir 70-80% UKM dan tenaga kerja sektor konstruksi menghuni struktur usaha pada sektor konstruksi nasional dan daerah. Apabila pemerintah Indonesia berkomitmen untuk membangun *platform e-commerce* untuk kontraktor kecil dan subspecialis dan membangun sentra-sentra dalam rangka meningkatkan akses akuisisi teknologi, dan memberikan dukungan mentoring untuk mendorong inovasi, maka usaha konstruksi atau kontraktor lokal/daerah dapat meningkatkan daya saingnya hingga skala global dan penggunaan teknologi paling mutakhir yang pada akhirnya memberikan kualitas dan hasil produk terbaik untuk dapat bersaing secara global.

### 1.5.5 Menarik Minat Investasi Asing

Tingginya investasi teknologi industri 4.0 dan belum jelasnya pengembalian investasi menjadi salah satu penghalang bagi banyak pelaku industri konstruksi. Oleh karena itu pemerintah perlu menyertakan para pelaku industri global untuk mengejar kesenjangan teknologi dan mempercepat transfer teknologi kepada perusahaan-perusahaan lokal. Untuk meningkatkan arus masuk investasi langsung asing atau foreign direct investment (FDI), pemerintah perlu menyiapkan berbagai insentif, berdialog dan berkolaborasi dengan dunia global.

### 1.5.6 Peningkatan Kualitas SDM

SDM konstruksi menjadi salah satu faktor kunci keberhasilan pelaksanaan industri konstruksi 4.0. Perombakan dan penyelarasan kurikulum pendidikan dengan kebutuhan industri di masa mendatang perlu dilakukan pemerintah dengan menekankan pada bidang *Science, Technology, Engineering, the Arts, dan Mathematics (STEAM)*, melalui *link and match* dunia pendidikan dengan industri konstruksi, reorientasi kurikulum berbasis digital dan robotik, skema pemagangan berbasis kebutuhan dunia kerja dan pengembangan *entrepreneurship*.

### 1.5.7 Pembangunan Ekosistem Inovasi

Ekosistem inovasi dalam sektor konstruksi akan menjadi hal yang penting untuk memastikan keberhasilan konstruksi 4.0. Pemerintah melalui kementerian PUPR dapat mengembangkan cetak biru pengembangan konstruksi 4.0 secara nasional dan daerah. Termasuk di dalamnya tentang perlindungan hak atas kekayaan intelektual dan insentif fiskal untuk mempercepat kolaborasi lintas sektor antara pelaku usaha jasa konstruksi dengan universitas.

### 1.5.8 Insentif untuk Investasi Teknologi

Insentif investasi teknologi dari pemerintah diharapkan dapat mendorong inovasi dan adopsi teknologi 4.0. Pemerintah Indonesia perlu menyiapkan berbagai insentif adopsi teknologi melalui kebijakan afirmatif seperti pemberian subsidi, potongan pajak perusahaan, dan pengecualian bea pajak impor bagi perusahaan konstruksi yang berkomitmen untuk menerapkan teknologi 4.0. Selain itu pemerintah dapat pula menggelontorkan dukungan pendanaan tambahan untuk investasi dan pengembangan inovasi teknologi canggih.

### 1.5.9 Harmonisasi Aturan dan Kebijakan

Sebuah lingkungan kerja yang baru yang diakibatkan oleh suatu teknologi baru akan membentuk perilaku dan budaya yang dinamis. Benturan yang diakibatkan oleh ketidakpastian regulasi lama dan perubahan yang ada tidak dapat dihindarkan. Untuk mendukung daya saing industri, maka perlu dilakukan penyelarasan berbagai kebijakan dan peraturan pemerintah melalui koordinasi yang erat dan berkesinambungan berbagai pemangku kepentingan di kementerian, lembaga terkait, termasuk pemerintah daerah.

## 1.6 KESIMPULAN

Beberapa hal yang menjadi simpulan dalam bab ini dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Konsep rumusan Industri 4.0 untuk industri konstruksi terdiri dari sejumlah besar teknologi yang memungkinkan adanya proses digitalisasi, otomatisasi dan integrasi pada semua tahapan rantai nilai dan *life cycle* proses konstruksi.
2. Tren penelitian atau kajian Industri 4.0 dan Konstruksi 4.0 masih merupakan area penelitian baru di dunia bahkan di Indonesia dan masih memiliki banyak ruang bagi pengembangan.
3. Pilar-pilar transformasi industri konstruksi akan meminimalisasi kelemahan-kelemahan sektor konstruksi melalui produk dan proses konstruksi yang terintegrasi, digitalisasi dan *real time*.
4. Analisis PESTEL membantu pengambil kebijakan untuk mengidentifikasi kekuatan-kekuatan eksternal (makro) industri konstruksi dan memetakan tantangan yang akan dihadapi.
5. Pemerintah atau pengambil kebijakan dapat menggunakan 10 inisiatif langkah strategis dalam mengembangkan Konstruksi 4.0.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alaloul, W. S., Liew, M. S., Zawawi, N. A. W. A., & Kennedy, I. B. (2019). "Industrial Revolution 4.0 in the construction industry: Challenges and opportunities for stakeholders". *Ain Shams Engineering Journal*, (xxxx). <https://doi.org/10.1016/j.asej.2019.08.010>
- Alavi, A. H., & Gandomi, A. H. (2017). "Big data in civil engineering. *Automation in Construction*", 79, 1-2. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.12.008>
- Ammar, M., Russello, G., & Crispo, B. (2018). "Internet of Things: A survey on the security of IoT frameworks". *Journal of Information Security and Applications*, 38, 8-27. <https://doi.org/10.1016/j.jisa.2017.11.002>

- Atzori, L., Iera, A., & Morabito, G. (2010). "The Internet of Things: A survey". *Computer Networks*, 54(15), 2787–2805. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2010.05.010>
- BCG. (2016). "Digital in Engineering and Construction". *The Boston Consulting Group*, 1–22.
- Ben-Ari, M., & Mondada, F. (2017). "Elements of Robotics". *Elements of Robotics*, 1–308. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-62533-1>
- Berger, R. (2015). "Think Act, Digitization in the construction industry". *Roland Berger GmbH*, p. 16. Retrieved from [https://www.rolandberger.com/publications/publication\\_pdf/tab\\_digitization\\_construction\\_industry\\_e\\_final.pdf](https://www.rolandberger.com/publications/publication_pdf/tab_digitization_construction_industry_e_final.pdf)
- Bilal, M., Oyedele, L. O., Qadir, J., Munir, K., Ajayi, S. O., Akinade, O. O., Pasha, M. (2016). "Big Data in the construction industry: A review of present status, opportunities, and future trends". *Advanced Engineering Informatics*, 30(3), 500–521. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2016.07.001>
- BIMCo. (2017). "Remodeling construction industry with digitization, BIM and reality capture, Geospatial World". Retrieved June 14, 2019, from BIM Community website: <https://www.bimcommunity.com/news/load/563/remodeling-construction-industry-with-digitization-bim-and-reality-capture>
- Birje, M. N., Praveen S. Challagidad., Goudar, R.H., Tapale, M. T. (2017). "Cloud computing review: concepts, technology, challenges and security". *International Journal of Cloud Computing*, 6(1), 32. <https://doi.org/10.1504/ijcc.2017.10004732>
- Büyüközkan, G., & Göçer, F. (2018). "Digital Supply Chain: Literature review and a proposed framework for future research". *Computers in Industry*, 97, 157–177. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2018.02.010>
- Caterpillar. (2015). "Caterpillar And Redbird To Advance Work Site Intelligence With Drone Analytics". Retrieved from <https://www.caterpillar.com/en/news/caterpillarNews/innovation/caterpillar-and-redbird-to-advance-work-site-intelligence-with-drone-analytics.html>

- Chatziantoniou, D., Pramadari, K., & Sotiropoulos, Y. (2011). "Supporting real-time supply chain decisions based on RFID data streams". *Journal of Systems and Software*, 84(4), 700–710. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2010.12.011>
- Chuang, T.-H., Lee, B.-C., & Wu, I.-C. (2017). "Applying Cloud Computing Technology to BIM Visualization and Manipulation". *28th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC 2011)*, (July). <https://doi.org/10.22260/isarc2011/0023>
- Craveiro, F., Bàrtolo, H., Duarte, J. P., & Bàrtolo, P. J. (2018). "Customizing insulation material properties for building retrofitting: from infrared thermography to additive manufacturing". *Proceedings of the 3rd International Conference on Progress in Additive Manufacturing (Pro-AM 2018)*. <https://doi.org/10.1063/1.2978249>
- Dams, B., Sareh, S., Zhang, K., Shepherd, P., Kovac, M., & Ball, R. J. (2017). "Remote three-dimensional printing of polymer structures using drones". *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Construction Materials*, (July), 1–31. <https://doi.org/10.1680/jcoma.17.00013>
- Dave, B., Buda, A., Nurminen, A., & Främbling, K. (2018). "A framework for integrating BIM and IoT through open standards". *Automation in Construction*, 95(August), 35–45. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.07.022>
- Davtalab, O., Kazemian, A., & Khoshnevis, B. (2018). "Perspectives on a BIM-integrated software platform for robotic construction through Contour Crafting". *Automation in Construction*, 89(January), 13–23. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.01.006>
- Dinh, H. T., Lee, C., Niyato, D., & Wang, P. (2011). "A survey of mobile cloud computing: architecture, applications, and approaches". *Wireless Communication Mobile Computing*, (October 2011), 1587–1611. Retrieved from <https://doi.org/10.1002/wcm.1203>

- Dupont, Q. F. M., Chua, D. K. H., Tashrif, A., & Abbott, E. L. S. (2017). "Potential Applications of UAV along the Construction's Value Chain". *Procedia Engineering*, 182(3), 165–173. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.03.155>
- FIEC. (2019). "Construction 4.0: challenges and opportunities". Retrieved from <http://www.fiec.eu/en/themes-72/construction-40/challenges-and-opportunities.aspx>
- García de Soto, B., Agustí-Juan, I., Hunhevicz, J., Joss, S., Graser, K., Habert, G., & Adey, B. T. (2018). "Productivity of digital fabrication in construction: Cost and time analysis of a robotically built wall". *Automation in Construction*, 92(December 2017), 297–311. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.04.004>
- Gayathri, M., & Srinivas, K. (2014). "A Survey on mobile cloud computing architecture, applications and challenges". *International Journal of Scientific Research Engineering & Technology (IJSRET)*, 3(6), 1013–1021.
- Gerrish, T., Ruikar, K., Cook, M., Johnson, M., Phillip, M., & Lowry, C. (2017). "BIM application to building energy performance visualisation and management challenges and potential". *Energy and Buildings*, 144, 218–228. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.03.032>
- Ghaffar, S. H., Corker, J., & Fan, M. (2018). "Additive manufacturing technology and its implementation in construction as an eco-innovative solution". *Automation in Construction*, 93(October 2017), 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.05.005>
- Goessens, S., Mueller, C., & Latteur, P. (2018). "Feasibility study for drone-based masonry construction of real-scale structures". *Automation in Construction*, 94(February), 458–480. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.06.015>
- Habibi, S. (2017). "The promise of BIM for improving building performance". *Energy and Buildings*, 153, 525–548. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.08.009>

- Hamledari, H., McCabe, B., Davari, S., & Shahi, A. (2017). "Automated Schedule and Progress Updating of IFC-Based 4D BIMs". *Journal of Computing in Civil Engineering*, 31(4), 04017012. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.0000660](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000660)
- Hu, Z., & Zhang, J. (2011). "BIM- and 4D-based integrated solution of analysis and management for conflicts and structural safety problems during construction: 1. Development and site trials". *Automation in Construction*, 20(2), 155-166. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.09.013>
- IBM. (2019). "Optimize design, operations and occupant experiences with IoT and AI-driven insights". Retrieved from <https://www.ibm.com/internet-of-things/explore-iot/buildings>
- IBM Security. (2016). "An integrated approach to insider threat protection". 3. Retrieved from <https://www-01.ibm.com/common/ssi/cgi-bin/ssialias?htmlfid=SEW03147USEN&>
- Iyengar, R. (2018). "Bringing the Best of Manufacturing to the Construction Industry". Retrieved June 10, 2019, from <https://connect.bim360.autodesk.com/manufacturing-construction-industry>
- Johnny Wong, Xiangyu Wang, Heng Li, Greg Chan, H. L. (2014). A review of cloud-based BIM technology in the construction sector. *Journal of Information Technology in Construction*, 19(August), 281-291. Retrieved from <http://www.itcon.org/2014/16>
- Kagermann, H., Helbig, J., Hellinger, A., & Wahlster, W. (2013). *Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0: Securing the future of German manufacturing industry; final report of the Industrie 4.0 Working Group*. Forschungsunion.
- Kapliński, O., Košleva, N., & Ropaitè, G. (2016). "Big Data in Civil Engineering: a State-of-the-Art Survey". *Engineering Structures and Technologies*, 8(4), 165-175. <https://doi.org/10.3846/2029882x.2016.1257373>

- Kehoe, B., Member, S., & Member, S. P. (2017). "A Survey of Research on Cloud Robotics and Automation". *Ieee Transactions on Automation Science and Engineering*, 1-11.
- Khan, M. A., & Salah, K. (2018). "IoT security: Review, blockchain solutions, and open challenges". *Future Generation Computer Systems*, 82, 395-411. <https://doi.org/10.1016/j.future.2017.11.022>
- Kota, S., Haberl, J. S., Clayton, M. J., & Yan, W. (2014). Building Information Modeling (BIM)-based daylighting simulation and analysis. *Energy and Buildings*, 81, 391-403. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.06.043>
- Latteur, P., Goessens, S., & Mueller, C. (2016). "Masonry construction with drones". *International Association for Shell and Spatial Structures (IASS)*, (October).
- Liu, Y., van Nederveen, S., & Hertogh, M. (2017). "Understanding effects of BIM on collaborative design and construction: An empirical study in China". *International Journal of Project Management*, 35(4), 686-698. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2016.06.007>
- Lopez\_Research. (2014). "Building Smarter Manufacturing With The Internet of Things: Part 2. of "The IoT Series". Retrieved from [http://cdn.iotwf.com/resources/6/iot\\_in\\_manufacturing\\_january.pdf](http://cdn.iotwf.com/resources/6/iot_in_manufacturing_january.pdf)
- Louis, J., & Dunston, P. S. (2018). "Integrating IoT into operational workflows for real-time and automated decision-making in repetitive construction operations". *Automation in Construction*, 94(August 2017), 317-327. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.07.005>
- Lublasser, E., Adams, T., Vollpracht, A., & Brell-Cokcan, S. (2018). "Robotic application of foam concrete onto bare wall elements - Analysis, concept and robotic experiments". *Automation in Construction*, 89(April 2017), 299-306. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.02.005>

- Matthews, J., Love, P. E. D., Heinemann, S., Chandler, R., Rumsey, C., & Olatunji, O. (2015). "Real time progress management: Re-engineering processes for cloud-based BIM in construction". *Automation in Construction*, 58, 38–47. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.07.004>
- McCabe, B. Y., Hamledari, H., Shahi, A., Zangeneh, P., & Azar, E. R. (2017). "Roles, Benefits, and Challenges of Using UAVs for Indoor Smart Construction Applications". 349–357. <https://doi.org/10.1061/9780784480830.043>
- Mittal, S., Khan, M. A., Romero, D., & Wuest, T. (2018). "A critical review of smart manufacturing & Industry 4.0 maturity models: Implications for small and medium-sized enterprises (SMEs)". *Journal of Manufacturing Systems*, 49(October), 194–214. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2018.10.005>
- Muhuri, P. K., Shukla, A. K., & Abraham, A. (2019). "Industry 4.0: A bibliometric analysis and detailed overview". *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 78(November 2018), 218–235. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2018.11.007>
- Natephra, W., Motamedi, A., Yabuki, N., & Fukuda, T. (2017). "Integrating 4D thermal information with BIM for building envelope thermal performance analysis and thermal comfort evaluation in naturally ventilated environments". *Building and Environment*, 124, 194–208. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.08.004>
- Oesterreich, T. D., & Teuteberg, F. (2016). "Understanding the implications of digitisation and automation in the context of Industry 4.0: A triangulation approach and elements of a research agenda for the construction industry". *Computers in Industry*, 83, 121–139. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2016.09.006>
- Oh, J., Vinokurov, J., & Dean, R. (2015). "Toward Mobile Robots Reasoning Like Humans". *Proceedings of the TwentyNinth AAAI Conference on Artificial Intelligence and the Twenty-Seventh Innovative Applications of Artificial Intelligence*

*Conference*, AAAI Press, Palo Alto, California, USA. Retrieved from [https://www.ri.cmu.edu/pub\\_files/2015/1/rcta-aaai2015.pdf](https://www.ri.cmu.edu/pub_files/2015/1/rcta-aaai2015.pdf)

Oraee, M., Hosseini, M. R., Papadonikolaki, E., Palliyaguru, R., & Arashpour, M. (2017). "Collaboration in BIM-based construction networks: A bibliometric-qualitative literature review". *International Journal of Project Management*, 35(7), 1288–1301. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2017.07.001>

Pemerintah Indonesia. (2017). *Undang-Undang No.2 Tahun 2017 Tentang Jasa Konstruksi*. Jakarta.

Perindustrian, K. (2018). *Making Indonesia 4.0*. Didapatkan dari <https://www.google.com/url>.

Piccarozzi, M., Aquilani, B., & Gatti, C. (2018). "Industry 4.0 in management studies: A systematic literature review". *Sustainability (Switzerland)*, 10(10), 1–24. <https://doi.org/10.3390/su10103821>

PUPR, K. (2019). *Paparan Menteri PU: Tantangan Industri Konstruksi dalam Era Indonesia 4.0 dalam acara Indonesian Construction Conference on Construction 4.0: The Wakeup Call in Construction Industry*. Jakarta.

Rahmani Asl, M., Zarrinmehr, S., Bergin, M., & Yan, W. (2015). "BPOpt: A framework for BIM-based performance optimization". *Energy and Buildings*, 108, 401–412. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.09.011>

Rott, J. (2019). "Cisco IoT Update". Retrieved from [https://www.cisco.com/c/dam/m/cs\\_cz/training-events/webinars/tech-club-webinars/2018-10-30-IoT-techclub.pdf](https://www.cisco.com/c/dam/m/cs_cz/training-events/webinars/tech-club-webinars/2018-10-30-IoT-techclub.pdf)

Rüßmann, M., Lorenz, M., Gerbert, P., Waldner, M., Justus, J., Engel, P., & Harnisch, M. (2015). "Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries". *Boston Consulting Group*, pp. 54–89. <https://doi.org/10.1007/s12599-014-0334-4>

- S. Castagnino, C. Rothballer, J. Abreu, T. Z. (2018). "6 ways the construction industry can build for the future". Retrieved from World Economic Forum website: <https://www.weforum.org/agenda/2018/03/how-construction-industry-can-build-its-future/>
- Santos, R., Costa, A. A., Silvestre, J. D., & Pyl, L. (2019). "Informetric analysis and review of literature on the role of BIM in sustainable construction". *Automation in Construction*, 103(November 2018), 221–234. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.02.022>
- Shawish, A. & Salama, M. (2013). "Cloud Computing: Paradigms and Technologies". In *Inter-cooperative Collective Intelligence: Techniques and Applications* (pp. 39–67).
- Sihn, W., Erol, S., Ott, K., Hold, P., & Jäger, A. (2016). "Tangible Industry 4.0: A Scenario-Based Approach to Learning for the Future of Production". *Procedia CIRP*, 54, 13–18. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.03.162>
- Spence, M. (2018). "The rise of Construction 4.0". Retrieved from [www.constructionglobal.com](http://www.constructionglobal.com) website: <https://www.constructionglobal.com/sustainability/rise-construction-40>
- Stergiou, C., Psannis, K. E., Kim, B. G., & Gupta, B. (2018). "Secure integration of IoT and Cloud Computing". *Future Generation Computer Systems*, 78, 964–975. <https://doi.org/10.1016/j.future.2016.11.031>
- Stock, T. & Seliger, G. (2016). "Opportunities of Sustainable Manufacturing in Industry 4.0". *Procedia CIRP*, 40(Icc), 536–541. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.01.129>
- Tatum, M. C., & Liu, J. (2017). "Unmanned Aircraft System Applications in Construction". *Procedia Engineering*, 196(June), 167–175. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.07.187>

- Trevelyan, J., Hamel, W. R., & Kang, S.-C. (2016). "Robotics in Hazardous Applications". *Springer Handbook of Robotics*, 1521–1548. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-32552-1\\_58](https://doi.org/10.1007/978-3-319-32552-1_58)
- Vaidya, S., Ambad, P., & Bhosle, S. (2018). "Industry 4.0 - A Glimpse". *Procedia Manufacturing*, 20, 233–238. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.02.034>
- Virtanen, J.-P., Hyyppä, H., Kurkela, M., Vaaja, M., Alho, P., & Hyyppä, J. (2014). "Rapid Prototyping – A Tool for Presenting 3-Dimensional Digital Models Produced by Terrestrial Laser Scanning". *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 3(3), 871–890. <https://doi.org/10.3390/ijgi3030871>
- Wang, S., Wan, J., Li, D., & Zhang, C. (2016). "Implementing Smart Factory of Industrie 4.0: An Outlook". *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 2016. <https://doi.org/10.1155/2016/3159805>
- Wei, C., & Li, Y. (2011). "Design of Energy Consumption Monitoring and Management Platform Based on the Technology of Internet of Things". *2011 International Conference on Electronics, Communications and Control (ICECC)*, 3650–3652. <https://doi.org/10.1109/ICECC.2011.6066758>
- Woodhead, R., Stephenson, P., & Morrey, D. (2018). "Digital construction: From point solutions to IoT ecosystem". *Automation in Construction*, 93(October 2017), 35–46. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.05.004>
- Xu, J., Ding, L., & Love, P. E. D. (2017). Digital reproduction of historical building ornamental components: From 3D scanning to 3D printing. *Automation in Construction*, 76, 85–96. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.01.010>
- Zhang, S., Teizer, J., Lee, J. K., Eastman, C. M., & Venugopal, M. (2013). "Building Information Modeling (BIM) and Safety: Automatic Safety Checking of Construction Models and Schedules". *Automation in Construction*, 29, 183–195. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.05.006>

## BIODATA PENULIS



**Jati Utomo Dwi Hatmoko, S.T., M.M., M.Sc., Ph.D.** adalah staf pengajar pada Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Diponegoro. Beliau menyelesaikan master dan doctoral bidang *Construction Management* di Newcastle University, Inggris. Bidang riset yang ditekuninya, antara lain *Construction 4.0, Lean Construction, Supply Chain Management, Public Private Partnership (PPP)*, Manajemen Risiko dan *Sustainable Construction*. Riset beliau telah dipublikasikan di berbagai jurnal maupun prosiding nasional dan internasional. Jati mendapatkan hibah dana penelitian nasional dan internasional, antara lain dari Kementerian Riset dan Teknologi, Kementerian Pekerjaan Umum, Lembaga Pengembangan Jasa Konstruksi, Newton Fund dan NERC, Inggris. Penulis bisa dihubungi di [jati.hatmoko@ft.undip.ac.id](mailto:jati.hatmoko@ft.undip.ac.id).



**Dr. Adi Papa Pandarangga, S.T., M.Si.** lulus S-1 di Jurusan Teknik Sipil (konsentrasi Struktur) Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada pada 2001. Beberapa tahun setelah bekerja di Pemerintah Daerah Kabupaten Sumba Timur (Dinas PU Bidang Bina Marga), beliau mendapatkan gelar magister (S-2) di Fakultas Ekonomi Magister Studi Pembangunan pada 2008. Pada rentang 2011-2015 beliau menyelesaikan Program Doktor Teknik Sipil (3 tahun 5 bulan) di Fakultas Teknik Program Studi Doktor Teknik Sipil Universitas Diponegoro dengan tema disertasi “Konseptualisasi Rantai Pasok Penyelenggaraan Material dan Peralatan Konstruksi pada Industri Konstruksi di Indonesia” dengan status *Cumlaude*. Selepas studi, beliau kembali bekerja sebagai staf di Bappeda Pemerintah Daerah Kabupaten Sumba Timur

dan mengajar pada Program Studi Ekonomi Pembangunan Universitas Kristen Wira Wacana Sumba. Selain itu, beliau juga aktif membantu penelitian dan jurnal daerah beberapa kali menjadi menjadi presenter *policy brief* perencanaan daerah di Bappenas. Pada 2019 menjadi presenter dan *paper* terbaik di konferensi nasional perencana Pusbindiklatren Bappenas 2019.