

Industri 4.0: Analisis Hambatan dalam Penerapannya pada Industri Manufaktur di Indonesia

Yanuarta I. Partama^{*1)}, M Dachyar, Farizal²⁾

¹⁾²⁾Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok, 16424, Indonesia

Email: yanuartaip@yahoo.com, farizal@eng.ui.ac.id

ABSTRAK

Industri 4.0 telah menjadi populer di seluruh dunia karena dipercaya memiliki keunggulan dalam meningkatkan kualitas produk, meningkatkan produktifitas, mengurangi resiko, dan melindungi lingkungan. Seiring dengan revolusi industri yang terjadi secara global, Indonesia telah berkomitmen untuk menerapkan Industri 4.0 yang dapat menjadi salah satu cara untuk mempercepat pencapaian visi Indonesia. Meskipun demikian penerapan industri 4.0 tidak mudah dicapai karena memiliki hambatan-hambatan tertentu. Beberapa peneliti telah melakukan studi tentang penerapan industri 4.0 di beberapa industri akan tetapi mengabaikan analisa tentang hambatan-hambatan tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk menjembatani kekurangan tersebut dengan mengkaji secara komprehensif hambatan-hambatan dalam penerapan industri 4.0 pada industri manufaktur di Indonesia dengan mengidentifikasi, memvalidasi dan melakukan pembobotan menggunakan permodelan *Best Worst Multi Criteria Decision Making Method*. Hasil penelitan menunjukkan bahwa biaya investasi yang tinggi, masalah kompleksitas dalam pengintegrasian dan kurangnya dukungan manajemen menjadi prioritas hambatan yang harus diselesaikan terlebih dahulu agar terciptanya penerapan industri 4.0 yang efektif dan efisien.

Kata kunci: *best worse method*, hambatan, industri 4.0, manufaktur, *multi criteria decision making*

1. Pendahuluan

Revolusi industri mengacu kepada perubahan dalam skala besar yang diakibatkan oleh perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi. Secara global, revolusi industri sudah terjadi sebanyak empat kali. Revolusi industri pertama terjadi pada tahun 1784 di mana tenaga kerja manusia digantikan oleh penggunaan mesin uap dalam industri. Revolusi industri kedua terjadi pada 1970 di mana terjadi kegiatan produksi secara masal. Kemudian dilanjutkan dengan revolusi industri ke tiga pada tahun 1969 yaitu penggunaan teknologi informasi dan komputerisasi untuk otomasi manufaktur. Pada tahun 2011 lahirlah istilah Industri 4.0 sebagai revolusi industri keempat yaitu mesin terintegrasi dengan jaringan internet.

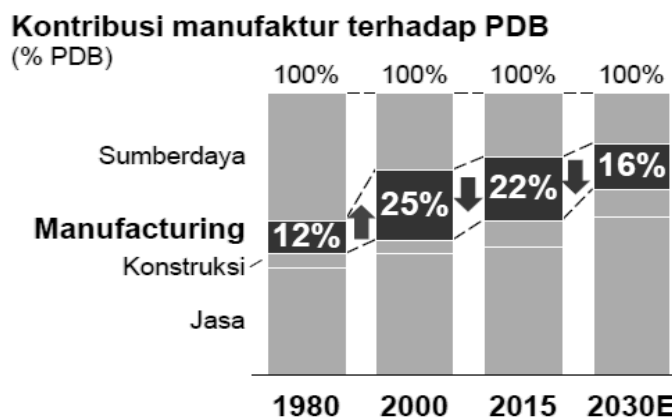
Sejak saat itu, Industri 4.0 menjadi populer di seluruh dunia (Hermann, Pentek, & Otto, 2016). Berbagai negara mencoba menerapkannya pada sistem industri mereka (Mangla, Kumar, & Barua, 2015) dikarenakan keunggulannya dalam meningkatkan produktifitas, mengurangi resiko, dan melindungi lingkungan dengan kualitas produk yang lebih baik (Lu Y., 2017). Penerapan Industri 4.0 membuat perusahaan menjadi pintar dan mengotomatisasikan sistem manufaktur dengan didukung oleh berkembangnya teknologi informasi dan komunikasi serta *internet of things* (IoT). Namun menerapkan Industri 4.0 di perusahaan manufaktur tidak mudah dicapai karena hambatan-hambatan tertentu (Lee & Lee, 2015).

Sama halnya dengan revolusi industri yang terjadi secara global, Indonesia berkomitmen untuk menerapkan Industri 4.0 yang dapat menjadi salah satu cara untuk mempercepat pencapaian visi Indonesia untuk berada pada sepuluh besar negara yang memiliki perekonomian terkuat tahun 2030 di dunia. Kementerian Perindustrian Republik Indonesia (2018) meluncurkan inisiatif "*Making Indonesia 4.0*" sebagai *roadmap* strategi Indonesia dalam memasuki era digital sebagai petunjuk yang jelas bagi pengembangan industri, terutama pada

lima sektor yang menjadi fokus industri dan sepuluh strategi prioritas nasional untuk memperkuat perindustrian di Indonesia.

Sebagai tahap awal, lima industri dipilih menjadi fokus utama penerapan industri 4.0 di Indonesia, yaitu pada sektor makanan dan minuman, tekstil dan pakaian, otomotif, kimia, dan elektronik. Pemilihan didasarkan pada evaluasi dampak ekonomi dan kriteria kelayakan implementasi yang mencakup ukuran pendapatan domestik bruto (PDB), perdagangan, potensi dampak industri tersebut terhadap industri lain, besar investasi, dan kecepatan dalam penetrasi pasar.

Fenomena Industri 4.0 ini adalah waktu yang tepat untuk revitalisasi perindustrian manufaktur yang selama ini berkontribusi besar terhadap PDB negara Indonesia, menurut *United Nations Statistics Division* (UNSD) Indonesia menempati peringkat keempat dunia dari lima belas negara yang kontribusi industri manufakturnya terhadap PDB lebih dari sepuluh persen pada tahun 2016. Namun kontribusi tersebut dapat menurun ketika Indonesia tidak berbenah dalam hal revitalisasi. Historis kontribusi PDB terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Kontribusi Manufaktur Terhadap PDB Indonesia (Kementerian Perindustrian Republik Indonesia, 2018)

Di sisi lain, Industri 4.0 terbilang baru bagi negara Indonesia, sebagai negara berkembang. Dibutuhkan definisi yang jelas untuk pemahaman dan praktek yang tepat (Luthra & Mangla, 2018). Beberapa peneliti telah melakukan studi tentang penerapan industri 4.0 di beberapa industri akan tetapi mengabaikan analisa tentang hambatan-hambatan yang dihadapi dalam penerapannya. Hal inilah yang memotivasi penulis tentang perlunya melakukan penelitian.

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi hambatan dalam penerapan Industri 4.0, memvalidasi hambatan yang telah teridentifikasi, kemudian memberikan pembobotan terhadap tantangan yang telah tervalidasi tersebut menggunakan permodelan *Best Worse Method (BWM)* - *Multi Criteria Decision Making*, sehingga didapatkan hambatan utama dalam penerapan industri 4.0 di negara berkembang dengan mengambil perspektif lima fokus industri manufaktur yang menjadi fokus industri penerapan industri 4.0 di Indonesia.

2. Tinjauan Pustaka

2.1. Industri 4.0

Jerman memiliki kepentingan yang besar untuk selalu menjadi yang terdepan dalam dunia manufaktur. Dari sini lahirlah istilah industri 4.0 sebagai bagian dari kebijakan rencana pembangunan dalam proyek yang dinamakan *High-Tech Strategy 2020* (Heng, 2014). Kemudian

istilah Industri 4.0 resmi diangkat kembali pada saat perhelatan *Hannover Fair* di tahun 2011 (Kagerman, Lukas, & Wahlster, 2011).

Topik industri 4.0 ini masih dalam penelitian dan pengembangan, sehingga definisi mengenai industri 4.0 masih sangat beragam. Pengertian industri 4.0 adalah digitalisasi yang terintegrasi ke dalam semua proses industri manufaktur (Kagerman, Lukas, & Wahlster, 2011). Peningkatan digitalisasi pada manufaktur ini didorong oleh empat faktor, yaitu (i) *big data*, komputersasi dan konektivitas; (ii) kemunculan analisa, kemampuan serta kecerdasan dalam model bisnis; (iii) interaksi antara manusia dengan mesin; dan (iv) adanya perbaikan perintah digital ke dunia fisikal (Lee, 2014).

2.2. Best Worse Method

Best-Worst Method (BWM) adalah metode *multi criteria decision making* (MCDM) baru yang dikembangkan oleh Dr. Jafar Rezaei pada tahun 2015. BWM dapat digunakan di berbagai bidang pengambilan keputusan seperti bisnis dan ekonomi, kesehatan, IT, teknik dan pertanian. Pada prinsipnya, tujuannya adalah untuk menentukan peringkat dan memilih alternatif diantara beberapa alternatif. Fitur yang menonjol dari BWM, dibandingkan dengan sebagian besar metode MCDM yang ada, adalah: (i) memerlukan lebih sedikit data perbandingan; (ii) perbandingan yang lebih konsisten, yang berarti menghasilkan hasil yang lebih dapat diandalkan (Rezaei, 2015). Model linear BWM yang akan digunakan dalam penelitian ini terdiri dari beberapa langkah:

1. Menentukan kriteria *decision making*, beberapa kriteria $\{C_1, C_2, C_3, C_4 \dots C_n\}$ diperlukan dalam mengambil keputusan
2. Menentukan kriteria terbaik (yang paling penting, yang paling berpengaruh) dan yang terburuk (yang paling tidak penting, yang paling tidak berpengaruh) permasing-masing kelompok atau kategori faktor. Pada titik ini, tidak diperlukan perbandingan dengan kriteria lain.
3. Membandingkan antara kriteria terbaik terhadap kriteria lain dalam kelompok yang sama. Ini dilakukan dengan menggunakan skor antara 1 dan 9, di mana 1 menyatakan tingkat kepentingan yang sama dengan factor yang terpilih dan 9 berarti sangat tidak penting. Vektor *Best-to-Others* akan menjadi: $A_B = (a_{B1}, a_{B2}, a_{B3}, \dots, a_{Bn})$, di mana a_{Bj} mengacu pada preferensi B (kriteria terbaik) terhadap kriteria j .
4. Membandingkan kriteria lain terhadap kriteria terburuk, yang ditentukan dengan menggunakan bilangan bulat antara 1 dan 9. Memilih 1 artinya kriteria tersebut memiliki nilai yang sama tidak berpengaruhnya dengan kriteria terburuk dan memilih 9 artinya kriteria tersebut sangat jauh lebih penting. Ini memberikan vektor *Other-to-Worst*: $A_W = (a_{1W}, a_{2W}, a_{3W} \dots, a_{nW})$, di mana a_{jW} adalah preferensi kriteria j terhadap kriteria terburuk w .
5. Menghitung bobot optimal $(w_1, w_2, w_3, w_4 \dots w_n)$. Bobot optimal dari kriteria harus memenuhi kondisi dimana untuk setiap pasangan $w_B/w_j - a_{Bj}$ dan $w_j/w_W - a_{jW}$. Untuk mendapatkan solusi terbaik adalah dengan meminimalkan set maksimum $\{|w_B - a_{Bj}w_j|, |w_j - a_{jW}w_W|\}$ dimana total $w_j = 1$ dan $w_j \geq 0$

Bobot optimal $(w^*_1, w^*_2, w^*_3, w^*_4 \dots w^*_n)$ dan ξ^{L*} bisa didapatkan menggunakan permasalahan perograman linear diatas. ξ^{L*} mengindikasikan indikator konsistensi, apabila nilainya semakin mendekati nol, maka semakin tinggi tingkat konsistensi model, dan semakin dapat diandalkan data yang digunakan untuk analisis ini.

3. Metodologi

Penelitian ini dilakukan secara tiga tahap yaitu, (i) Pengumpulan data melalui studi literatur untuk mengidentifikasi hambatan penerapan industri 4.0. (ii) Validasi data, dengan melibatkan empat responden tenaga ahli dengan minimal jabatan direktur utama dari perusahaan penyedia layanan industri 4.0 atau yang sudah menggunakan industri 4.0 pada perusahaannya, yang sangat paham tentang industri 4.0 dan pernah bekerja di wilayah Indonesia. Responden tenaga ahli diminta untuk memvalidasi hambatan yang sudah teridentifikasi menggunakan *semi-structured* kuesioner. (iii) Pengolahan akhir dengan melakukan pembobotan hambatan menggunakan kuesioner yang dilakukan oleh sepuluh orang pelaku industri yang telah ahli di masing-masing industri manufaktur di Indonesia dengan level jabatan setara manajer. Pembobotan menggunakan *Best Worst Method* dilakukan untuk menentukan hambatan yang harus diprioritaskan.

4. Penentuan Hambatan Dalam Penerapan Industri 4.0

Tahapan pertama adalah pengumpulan data melalui studi literatur, berikut hambatan yang ditemukan:

Tabel 1. Hambatan yang teridentifikasi

No	Hambatan dalam penerapan industri 4.0	Referensi
1	Tingginya Biaya Investasi Kendala keuangan dianggap sebagai tantangan antara organisasi bisnis untuk mengembangkan kemampuan mereka dalam hal peralatan dan mesin canggih, fasilitas dan inovasi proses berkelanjutan.	Zhou et al.,2016; Marques et al.,2017; Kamigaki,2017; Kiel et al.,2017; Theorin et al.,2017; Kemenperin,2018; Nicoletti,2018
2	Hilangnya ketersediaan lapangan pekerjaan Penerapan industri 4.0 menghilangkan sebagian kesempatan bekerja bagi manusia di perusahaan manufaktur karena telah digantikan oleh robot/ mesin otomasi.	Zezulka et al.,2016; Zhou et al.,2016; Frey et al.,2017; Waibel et al.,2017;
3	Kurangnya keterampilan dan kompetensi pekerja Kurangnya tenaga kerja yang terampil dan berkualitas dengan kemampuan digital baik itu teknis maupun non teknis.	Benesova et al., 2017; Ryan et al.,2017; Hung,2017; Lorna et al.,2017; Rymaszewska.,2017; Khan et al., 2017;Saucedo-Martinez et al.,2017
4	Kurangnya pengetahuan tentang industri 4.0 Setiap industri mempunyai sistem yang berbeda beda antara satu sama lain. Dibutuhkan standar acuan dalam penerapan industri 4.0 pada masing masing industri agar penerapannya sesuai dengan yang diinginkan industri tersebut.	Pfisterer et al.,2016; Almada-lobo,2016; Zhou et al.,2016; Erol et al., 2016; Hermann et al.2016; Rymaszewka et al.,2017; Hofmann and Rusch,2017; Ryan and Watson,2017
5	Kurangnya infrastruktur digital Infrastruktur tinggi, fasilitas berbasis sistem informasi dan teknologi adalah sangat penting sebagai penunjang Industri 4.0. Teknologi berbasis internet tidak tersebar secara merata dianggap bisa menghambat pertumbuhan bisnis yang berkelanjutan..	Zhou et al., 2016; Leitao et al.,2016; Waibel et al.,2017; Khan et al.,2017; Bedekar,2017; Pfohl et al.,2017; Kemenperin,2018

6	Masalah resiko keamanan cyber Infrastruktur tinggi, fasilitas berbasis sistem informasi dan teknologi adalah sangat penting dalam penerapan konsep Industri 4.0 yang efektif. Di negara berkembang, teknologi berbasis internet tidak tersebar secara merata di daerah perkotaan dan pedesaan yang dianggap bisa menghambat pertumbuhan bisnis yang berkelanjutan.	Wang et al.,2016; Zhou et al.,2016; Hecklau et al.,2016; Babiceanu and Seker,2016; Yu et al.,2017; Alaba et al.,2017; Pereira et al.,2017
7	Masalah hukum dan kebijakan pemerintah Dibutuhkan kebijakan dan arahan pemerintah tentang hukum perlindungan data, pertanggung jawaban atas kecerdasan buatan dan standardisasi	Pompa,2015; Lin, 2016; Mueller et al.,2017a; Shelbourn et al.,2005; Kemenperin,2018
8	Masalah lingkungan hidup Otomasi besar-besaran yang diterapkan dapat menyebabkan masalah yang serius terhadap lingkungan.	Weyer et al.,2015; Deloitte,2015; Kemenperin,2018
9	Masalah kompleksitas dalam mengintegrasikannya Kerumitan dalam mengintegrasikan industri 4.0 ke dalam sistem yang sudah ada dan kurangnya kemampuan dalam mengatur ulang pola produksi yang akan menghambat kesuksesan dalam penerapan industri 4.0	Erol et al., 2016; Valmohammadi,2016; Lu,2017; Ras et al.,2017; Hussain,2017; Buntz,2017; Santos et al.,2017
10	Perilaku enggan terhadap perubahan Sebagian besar industri masih asing dan tidak yakin dengan topik industri 4.0, karena tidak tahu akan manfaat dan merasa sudah cukup dengan kemampuan industri mereka yang sudah ada.	Valmohammadi,2016; Hussain,2017; Broring et al.,2017; Mueller et al.,2017b; Theorin et al.,2017; Perales et al.,2018; Kemenperin,2018
11	Kurangnya dukungan manajemen Inisiatif manajemen sangat dibutuhkan. Masalah terjadi ketika tidak adanya tim manajemen yang terampil dalam model bisnis baru dan inventif.	Hecklau et al., 2016; Gokalp et al.,2017; Savtschenko et al., 2017; Shamim et al.,2017
12	Kurangnya tanggap terhadap digital Sebagian industri belum terbiasa dengan digitalisasi.	Ras et al.,2017; Schuh et al.,2017; Kemenperin,2018
13	Kurangnya standar komunikasi dalam berbagi data Dalam industri 4.0, antar sistem akan saling dihubungkan untuk berkomunikasi secara bebas. Untuk mencapai kesuksesan dalam hal ini industri harus mengikuti standar dan protokol global dalam berbagi data untuk mencapai kesepahaman data.	Bughin et al.,2015; Li et al.,2016; Branke et al.,2016; Geisberger and broy,2016; Duarte and Cruz-Machado,2017; Pfohl et al.2017; Mueller et al.,2017; Haddud et al.,2017
14	Kurangnya berkembangnya potensi geografis Bahan baku dan komponen kunci dari industri manufaktur yang masih bergantung pada import, belum berkembangnya zona industri yang komprehensif dan produktivitas yang masih rendah.	Kemenperin, 2018

Kemudian dilanjutkan dengan validasi hambatan, para tenaga ahli diminta untuk memberikan pandangannya terhadap tantangan yang sudah teridentifikasi dengan memberikan jawaban “✓” untuk tantangan yang menurut para tenaga ahli berpengaruh terhadap penerapan industri 4.0 pada industri manufaktur di Indonesia dan “✗” untuk tantangan yang kurang berpengaruh. Tantangan yang mendapatkan “✓” lebih dari satu kali akan dipertahankan, sebaliknya tantangan yang mendapatkan ‘✗’ lebih dari satu kali akan dihilangkan. Hasil penjumlahan darivalidasi empat responden tenaga ahli dipaparkan pada tabel 2.

Tabel 2. Hambatan yang telah divalidasi oleh responden tenaga ahli

C _n	Tantangan dalam penerapan
C ₁	Tingginya biaya investasi
C ₂	Kurangnya keterampilan dan kompetensi pekerja
C ₃	Kurangnya pengetahuan tentang industri 4.0
C ₄	Kurangnya infrastruktur dan konektivitas jaringan
C ₅	Masalah resiko keamanan cyber
C ₆	Masalah kompleksitas dalam mengintegrasikannya
C ₇	Perilaku enggan terhadap perubahan
C ₈	Kurangnya dukungan manajemen
C ₉	Kurangnya tanggap terhadap digital

5. Penentuan Hambatan Prioritas

Pada tahapan ini dilakukan pembobotan tantangan oleh sepuluh orang pelaku industri manufaktur di Indonesia dengan jabatan minimal selevel manager agar tantangan yang telah tervalidasi sesuai dengan keadaan industri manufaktur Indonesia. Pembobotan dari responden pelaku industri ini dilakukan menggunakan menggunakan BWM. Pembobotan optimal dari sepuluh responden pelaku industri dipaparkan pada tabel 3. Nilai ξ^{L*} menunjukkan indikator konsistensi yang semakin mendekati nol, maka semakin tinggi tingkat konsistensi dari model, dan semakin dapat diandalkan hasil yang diperoleh.

Tabel 3. Penilaian hambatan yang telah tervalidasi

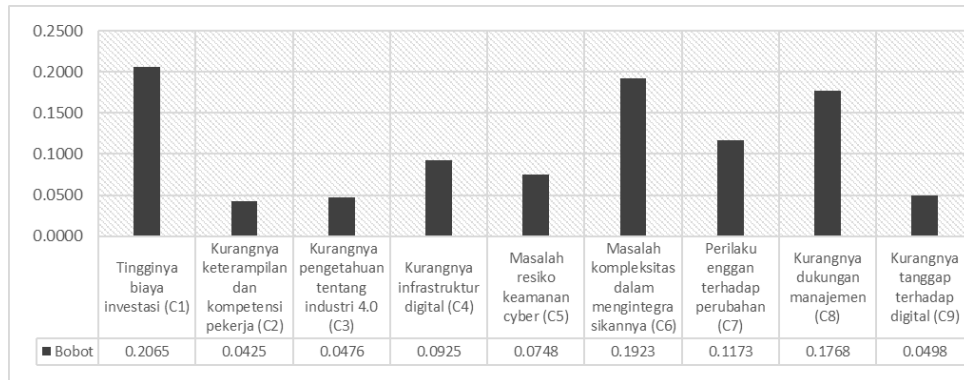
	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉	ξ^{L*}
PT 1	0.1892	0.0757	0.0757	0.0757	0.0946	0.1261	0.2928	0.0473	0.0230	0.0855
PT 2	0.2937	0.0472	0.0262	0.0755	0.1259	0.1259	0.0629	0.1888	0.0539	0.0839
PT 3	0.1825	0.0270	0.0521	0.0913	0.0608	0.1825	0.0521	0.2907	0.0608	0.0744
PT 4	0.3157	0.0546	0.0764	0.0956	0.0277	0.1911	0.0478	0.1274	0.0637	0.0665
PT 5	0.1727	0.0494	0.0225	0.1152	0.0494	0.2741	0.0864	0.1727	0.0576	0.0714
PT 6	0.1281	0.0256	0.0549	0.0769	0.0640	0.1921	0.0961	0.3074	0.0549	0.0769
PT 7	0.2702	0.0237	0.0409	0.1636	0.1090	0.1636	0.0545	0.1090	0.0654	0.0569
PT 8	0.2572	0.0391	0.0447	0.0783	0.0626	0.1565	0.1044	0.2348	0.0224	0.0559
PT 9	0.1299	0.0282	0.0557	0.0779	0.0779	0.3219	0.0649	0.1948	0.0487	0.0678
PT 10	0.1261	0.0540	0.0270	0.0756	0.0756	0.1891	0.3107	0.0946	0.0473	0.0675

Kemudian dihitung rata rata bobot optimal tantangan yang didapatkan dari hasil masing masing bobot optimal dari dua belas responden pelaku industri. Hasil akhir dari pembobotan optimal dipaparkan pada tabel 4. Semakin rendah nilai standar deviasi menunjukkan homogenitas diantara dua belas responden pelaku industri.

Tabel 4. Rata-rata bobot optimal dan standar deviasi

Hambatan dalam penerapan industri 4.0	Bobot Rata Rata	Standar Deviasi
Tingginya biaya investasi (C ₁)	0.2065	0.0720
Kurangnya keterampilan dan kompetensi pekerja (C ₂)	0.0425	0.0168
Kurangnya pengetahuan tentang industri 4.0 (C ₃)	0.0476	0.0192
Kurangnya infrastruktur dan konektivitas jaringan (C ₄)	0.0925	0.0281
Masalah resiko keamanan cyber (C ₅)	0.0748	0.0289
Masalah kompleksitas dalam mengintegrasikannya (C ₆)	0.1923	0.0619

Perilaku enggan terhadap perubahan (C ₇)	0.1173	0.0992
Kurangnya dukungan manajemen (C ₈)	0.1768	0.0846
Kurangnya tanggap terhadap digital (C ₉)	0.0498	0.0154
ξ_{L^*}	0.0707	



Gambar 2. Grafik hambatan dalam penerapan industri 4.0

Dijelaskan pada gambar 2 bahwa tingginya biaya investasi (C₁) merupakan hambatan dengan bobot yang paling tinggi, yaitu 0.2065. Untuk itu tingginya biaya investasi merupakan hambatan yang paling krusial yang perlu dihadapi dalam penerapan industri 4.0 pada industri manufaktur di Indonesia. Kendala keuangan dianggap sebagai tantangan yang harus diperhatikan oleh perusahaan untuk dapat mengembangkan sistem mereka dalam hal peralatan dan mesin canggih, fasilitas mumpuni dan berbagai inovasi berkelanjutan dalam penerapan industri 4.0 (Nicoletti, 2018). Perusahaan yang ingin menerapkan industri 4.0 untuk melakukan konsultasi dengan tenaga ahli dan sistem integrator untuk industri 4.0 yang nantinya akan mengevaluasi menyarankan sistem yang seperti apa yang cocok dengan perusahaan tersebut sehingga membuat investasi awal dalam penerapan industri 4.0 menjadi efektif dan efisien dengan harga yang sesuai dengan kebutuhan perusahaan manufaktur tersebut (Prinz, Schoeffler, Lechler, & Verl, 2019).

Hambatan lain yang patut diperhitungkan adalah masalah kompleksitas dalam pengintegrasian. Dalam suatu perusahaan manufaktur terdapat banyak komponen dan mesin yang berbeda-beda. Industri 4.0 memungkinkan integrasi dari masing-masing komponen dan mesin tersebut untuk pertukaran dan analisa data satu sama lain. Dalam penerapannya diperlukan sebuah alat yang memungkinkan untuk memahami, merancang, mengembangkan, mengimplementasikan dan mengintegrasikan antar sistem (Li, et al., 2019). Alat ini bisa beradaptasi dengan kemajuan teknologi dari waktu ke waktu (Panetto, Lung, Ivanov, Weichhart, & Wang, 2019). Proses penerapan industri 4.0 akan berjalan tanpa sistem yang terintegrasi satu sama lain. Dengan demikian, penting untuk merancang dan mengembangkan platform yang mendukung proses pengintegrasian sistem industri 4.0 (Zhou, 2016).

Kurangnya dukungan manajemen menjadi hambatan ketiga paling berpengaruh. Untuk mengembangkan sistem manufaktur menjadi lebih baik dibutuhkan dukungan manajemen yang juga mempunyai visi untuk menerapkan industri 4.0 kedalam sistem manufaktur perusahaan tersebut (Gokalp, 2017) karena pada penerapannya terjadi transformasi sistem bisnis dan kegiatan manufaktur yang luar biasa. Untuk menunjang hal tersebut dibutuhkan dukungan manajemen terutama dalam pengembangan karyawan, agar nantinya sistem manufaktur yang diterapkan menjadi lebih efektif dan efisien. Perusahaan manufaktur dapat memulai dengan inisiatif digital kecil, jika berhasil hal tersebut dapat membuktikan akan manfaat dari industri 4.0. Keberhasilan

inisiatif tersebut juga dapat memberikan seluruh organisasi kepercayaan diri untuk memulai upaya digitalisasi yang lebih signifikan, yang sejalan dengan visi dan misi dari majemen. (Eng, 2017)

6. Simpulan

Industri 4.0 yang diyakini memiliki keunggulan dalam meningkatkan produktifitas, mengurangi resiko dan melindungi lingkungan dengan kualitas produk, yang mempengaruhi operasi dan sistem manufaktur secara keseluruhan. Namun, penerapan industri 4.0 tidaklah mudah. Ditemukan beberapa hambatan yang akan dihadapi perusahaan dalam penerapan industri 4.0 ke dalam sistem manufaktur mereka. Oleh karena itu perusahaan harus melalui hambatan yang ada, sebelum mencoba menerapkan sistem produksi cerdas tersebut. Penelitian ini telah menganalisis hambatan yang akan dihadapi oleh industri manufaktur di Indonesia ketika mencoba menerapkan industri 4.0. Hambatan tersebut ini diidentifikasi, divalidasi dan dinilai dalam industri yang menjadi fokus Indonesia dalam penerapan making Indonesia 4.0.

Penelitian ini menunjukkan bahwa tingginya biaya investasi menjadi hambatan yang paling krusial diantara tantangan lain. Diikuti dengan kompleksitas dalam pengintegrasian dan kurangnya dukungan manajemen. Tiga prioritas hambatan ini dapat dipertimbangkan untuk penelitian selanjutnya dalam penentuan saran strategis penerapan industri 4.0 pada industri manufaktur di Indonesia.

Daftar Pustaka

- Alaba, F., Othman, M., Hashem, I., & Alotaibi, F. (2017). Internet of things security: a survey. *J. Netw. Comput. Appl.* 88, 10-28.
- Almada-Lobo, F. (2016). The Industry 4.0 revolution and the future of manufacturing execution systems (MES). *J. Innov. Manage.* 3 , 16–21.
- Babiceanu, R., & Seker, R. (2016). Big data and virtualization for manufacturing cyberphysical systems: a survey of the current status and future outlook. *Comput. Ind.* 81, 128-137.
- Bedekar, A. (2017). *Opportunities & Challenges for IoT in India*. Retrieved from Startupcity.com: <http://www.startupcity.com/leaders-talk/-opportunities-challenges-for-iot-in-india-nid-3444.html>
- Benesova, A., & Tupa, J. (2017). Requirements for education and qualification of people in industry 4.0. *Procedia Manuf.* 11, 2195–2202.
- Branke, J., Farid, S., & Shah, N. (2016). Industry 4.0: a vision for personalized medicine supply chains? *Cell Gene Ther. Insights* 2, 263-270.
- Bröring, A., Schmid, S., Schindhelm, C., Khelil, A., Kabisch, S., Kramer, D., & Teniente, E. (2017). Enabling IoT ecosystems through platform interoperability. *IEEE Softw.*, 54-61.
- Bughin, J., Chui, M., & Manyika, J. (2015). *An executive's guide to the internet of things*, *McKinsey Q.* 4. Retrieved from Mckinsey: www.mckinsey.com/businessfunctions/functions/digital-mckinsey/our-insights/an-executives-guide-to-the-internet-ofthings
- Buntz, B. (2017). *Top 10 Reasons People Aren't Embracing The IoT*. Retrieved from Internet of Things Institute, 2017: www.ioti.com/iottrends-and-analysis/top-10-reasons-people-aren-t-embracing-iot.
- Delloite. (2015). *Industry 4.0. Challenges and solutions for the digital transformation and use of exponential technologies*. Delloite.
- Deloitte. (2017, March 21). *Industry 4.0 and cybersecurity*. Retrieved from Deloitte Insights: <https://www2.deloitte.com/insights/us/en/focus/industry-4-0/cybersecurity-managing-risk-in-age-of-connected-production.html>

- Duarte, S., & Cruz-Machado, V. (2017). Exploring linkages between lean and green supply chain and the industry 4.0. *International Conference on Management Science and Engineering Management*, 1242-1252.
- Erol, S., Jager, A., Hold, P., Ott, K., & Sihm, W. (2016). *Tangible Industry 4.0: a scenario-based approach to learning for the future of production*. 6th CIRP Conference on Learning Factories,.
- Frey, C. B., & Osborne, M. A. (2017). The future of employment: how susceptible are jobs to computerization? *Technol. Forecasting Soc. Change* 114, 254-280.
- Geisberger, E., & Broy, M. (2016). *AgendaCPS: Integrierte Forschungsagenda Cyber-Physical Systems. Vol. 1 Springer-Verlag. Gilchrist, Alasdair. Industry 4.0: the industrial internet of things. Apress.*
- Gökalp, E., Sener, U., & Eren, P. (2017). Development of an assessment model for industry 4.0: industry 4.0-MM. *International Conference on Software Process Improvement and Capability Determination*, 128-142.
- Haddud, A., DeSouza, A., Khare, A., & Lee, H. (2017). Examining potential benefits and challenges associated with the internet of things integration in supply chains. *J. Manuf. Technol. Manage.* 28, 1055-1085.
- Hecklau, F., Galeitzke, M., Flachs, S., & Kohl, H. (2016). Holistic approach for humanresource management in industry 4.0. *Procedia CIRP*, 1-6.
- Heng, S. (2014, April 23). *Industry 4.0: Upgrading of Germany's Industrial Capabilities on the Horizon*. Retrieved from papers.ssrn.com:
- Hermann, M., Pentek, T., & Otto, B. (2016). Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios. *49th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS)*, 3928-3937.
- Hofmann, E., & Rusch, M. (2017). Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics. *Comput. Ind.* 89, 23-24.
- Hung, M. (2016). *Special Report – IoT's Challenges and Opportunities in 2017*. Retrieved from Gartner: www.gartner.com/technology/research/internet-ofthings/report/?cm_sp=sr_-iot_-link
- Hussain, M. (2017). Internet of things: challenges and research opportunities. *CSI Trans. ICT* 5, 87-95. doi:<https://doi.org/10.1007/s40012-016-0136-6>
- Kagermann, H., Lukas, W., & Wahlster, W. (2011, April 1). *Industrie 4.0: Mit dem Internet der Dinge auf dem Weg zur 4. industriellen Revolution*. Retrieved from Vdi-nachrichten: <http://www.vdinachrichten.com/Technik-Gesellschaft/Industrie-40- Mit-Internet-Dinge-Weg-4-industriellen-Revolution>
- Kamigaki, T. (2017). ObjectOriented RFID with IoT: a design concept of information systems in manufacturing. *Electronics* 6, 14.
- Kemenperin. (2018). *Making Indonesia 4.0 - Kementerian Perindustrian*. Retrieved from Kementerian Perindustrian Republik Indonesia: kemenperin.go.id/download/18427
- Khan, M., Wu, X., Xu, X., & Dou, W. (2017). Big data challenges and opportunities in the hype of Industry 4.0. *2017 IEEE International Conference on Communications (ICC)*, 1-6.
- Kiel, D., Muller, J., Arnold, C., & Voigt, K. I. (2017). Sustainable industrial value creation: benefits and challenges of Industry 4.0. *ISPIM Innovation Symposium, The International Society for Professional Innovation Management (ISPIM)*, 1.
- Lee, I., & Lee, K. (2015). The IoT (IoT): Applications, investments, and challenges for enterprises. *Business Horizons*, 58, 431-440.
- Leitao, P., Colombo, A., & Karnouskos, S. (2016). Industrial automation based on cyberphysical systems technologies: prototype implementations and challenges. *Comput. Ind.* 81, 11-25.
- Li, Q., Pu, Y., Xu, Z., Wei, H., Tang, Q., Chan, I., . . . Zhou, J. (2019). Architecture of Integration of Industrialization and Informatization. *OTM Confederated International Conferences "On the Move to Meaningful Internet Systems"*, 5-14.

- Li, S., Tryfonas, T., & Li, H. (2016). The internet of things: a security point of view. *Internet Res.* 26, 337-359.
- Lin, T. (2016). Compliance, technology, and modern finance, Brook. *J. Corp. Fin. Com. L.*, 159.
- Lorna, U., & He, W. (2017). How the internet of things can help knowledge management: a case study from the automotive domain. *J. Knowl. Manage.* 21, 57-70.
- Lu, Y. (2017). Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues. *Journal of Industrial Information Integration*, 1-10.
- Luthra, S., & Mangla, S. K. (2018). Evaluating challenges to Industry 4.0 initiatives for supply chain sustainability in emerging economies. *Process Safety and Environmental Protection*, 168-179.
- Mangla, S., Kumar, P., & Barua, M. (2015). Risk analysis in green supply chain using fuzzy AHP approach: a case study. *Resour. Conserv. Recycl.* 104, 375-390.
- Marques, M., Agostinho, C., Zacharewicz, G., & Jardim-Goncalves, R. (2017). Decentralized International Society for Professional Innovation Management (ISPIM). *J. Ambient Intel. Smart Environ.* 9, 299-313.
- Mueller, E., Chen, X., & Riedel, R. (2017). Challenges and requirements for the application of industry 4.0: a special insight with the usage of cyber-physical system. *Chin. J. Mech. Eng.* 30, 1050–1057. doi:<https://doi.org/10.1007/s10033-017-0164-7>
- Nicoletti, B. (2018). The future: procurement 4.0. In: Agile Procurement. *Cham: Palgrave Macmillan*, 189-230.
- Panetto, H., Lung, B., Ivanov, D., Weichhart, G., & Wang, X. (2019). Challenges for the cyber-physical manufacturing enterprises of the future. *Annual Reviews in Control*.
- Perales, D., Valero, F., & García, A. (2018). Industry 4.0: a classification scheme. In: Closing the Gap Between Practice and Research in Industrial Engineering. *Springer, Cham.*, 343-350.
- Pereira, T., Barreto, L., & Amaral, A. (2017). Network and information security challenges within Industry 4.0 paradigm. *Procedia Manuf.* 13, 1253-1260.
- Pfisterer, D., Radonjic-Simic, M., & Reichwald, J. (2016). Business model design and architecture for the internet of everything. *J. Sens. Actuator Netw.* 5, 7.
- Pfohl, H., Yahsi, B., & Kurnaz, T. (2017). Network and information security challenges within Industry 4.0 paradigm. *Procedia Manuf.* 13, 1253-1260.
- Pompa, C. (2015). *Jobs for the Future*. Retrieved from <https://youtheconomicopportunities.org/sites/default/files/uploads/resource/ODI-JobsfortheFuture.pdf>.
- Ras, E., Wild, F., Stahl, C., & Baudet, A. (2017). Bridging the skills gap of workers in industry 4.0 by human performance augmentation tools: challenges and roadmap. *Proceedings of the 10th International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments*, 428–432.
- Rezaei, J. (2015). Best-Worst Multi-Criteria Decision-Making Method. *Omega* 53, 49-57.
- Ryan, P. J., & Watson, R. B. (2017). Research challenges for the internet of things: what role can OR play? *Systems* 5, 17-24.
- Rymaszewska, A., Helo, P., & Gunasekaran, A. (2017). IoT powered servitization of manufaturing—an explorary case study. *Int. J. Prod. Econ.* 192, 92-105.
- Santos, K., Loures, E., Piechnicki, F., & Canciglieri, O. (2017). Opportunities assessment of product development process in industry 4.0. *Procedia Manuf.* 11, 1358–1365.
- Saucedo-Martinez, J., Perex-Lara, M., Marmolejo-Saucedo, J., Salais-Fierro, T., & Vasant, P. (2017). Industry 4.0 framework for management and operations: a review. *J. Ambient Intel. Hum. Comput.* 1-13.
- Savtschenko, M., Schulte, F., & Voß, S. (2017). IT governance for cyber-physical systems: the case of Industry 4.0. *International Conference of Design, User Experience and Usability*, 667-676.

- Schuh, G., Potente, T., Varandani, R., & Schmitz, T. (2014). Global footprint design based on genetic algorithms - an "industry 4.0" perspective. *Cirp. Ann.-Manuf. Technol.* 63.
- Shamim, S., Cang, S., Yu, H., & Li, Y. (2017). Examining the feasibilities of Industry 4.0 for the hospitality sector with the lens of management practice. *Energies* 10, 499.
- Shelbourn, M., Hassan, T., & Carter, C. (2005). Legal and contractual framework for the VO, Virtual Organizations. *Springer, Boston, MA*, 167-176.
- Theorin, A., Bengtsson, K., Provost, K., Lieder, M., Johnsson, C., Lundholm, T., & Lennartson, B. (2017). An event-driven manufacturing information system architecture for Industry 4.0. *International Journal of Production Research*, 55, 1297-1311.
- Valmohammadi, C. (2016). Examining the perception of Iranian organizations on internet of things solutions and applications. *Ind. Commer. Train.* 48, 104-108.
- Waibel, M., Steenkamp, L., Moloko, N., & Oosthuizen, G. (2017). Investigating the the effects of smart production systems on sustainability elements. *Procedia Manuf.* 8, 731-737.
- Wang, S., Wan, J., Li, D., & Zhang, C. (2016). Implementing smart factory of industrie 4.0: an outlook. *Int. J. Distrib. Sens. Netw.*
- Weyer, S., Schmitt, M., Ohmer, M., & Gorecky, D. (2015). Towards industry 4.0 – Standardization as the crucial challenge for highly modular, multi-vendor production systems. *IFAC-PapersOnLine*, 579–584.
- Yu, Z., Ouyang, J., Li, S., & Peng, X. (2017). Formal modeling and control of cyber-physical manufacturing systems. *Adv. Mech. Eng.* 9.
- Zezulka, F., Marcon, P., Vesely, I., & Sajdl, O. (2016). Industry 4. 0–An introduction introduction in the phenomenon. *IFAC-PapersOnLine* 49, 8-12.
- Zhou, K., Liu, T., & Zhou, L. (2016). Industry 4.0: towards future industrial opportunities and challenges. *12th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery*, 2147-2152.