

PENGEMBANGAN MODEL PENGUKURAN KESIAPAN INDUSTRI 4.0 UNTUK PERUSAHAAN MANUFAKTUR DI INDONESIA

Tan Hauw Sen, Aditya Andhika, Francisca Dini Ariyanti, Khristian Edi Nugroho Soebandrija

Departemen Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Bina Nusantara
Jl. KH. Syahdan, No. 9 Palmerah, Jakarta Barat, 11480
Email: tan.rimo@binus.edu

Abstrak

Perusahaan manufaktur di Indonesia saat ini sedang menghadapi tantangan dalam menghadapi era Industri 4.0. Perusahaan manufaktur melihat konsep Industri 4.0 ini sangat kompleks yang dapat mengganggu proses bisnis mereka sementara mereka belum yakin akan keuntungan yang didapatkan dari implementasi Industri 4.0. Di sisi lainnya perusahaan juga kesulitan untuk menilai kesiapan mereka untuk memulai proses transformasi Industri 4.0 dan gagal membuat strategi dan rencana kerja yang jelas. Penelitian ini mengembangkan model pengukuran kesiapan Industri 4.0 dengan 2 aspek, 5 dimensi dan 20 variabel yang dapat digunakan oleh perusahaan manufaktur untuk menilai keadaan mereka saat ini. Dimensi “Pemahaman” dan dimensi “Kepemimpinan dan Strategi” digunakan untuk mengukur kesiapan perusahaan dalam aspek “Pengetahuan”, sementara dimensi “Pekerja dan Budaya”, dimensi “Teknologi” dan dimensi “Operasional” digunakan untuk mengukur kesiapan perusahaan dalam aspek “Kemampuan Sumber Daya”. Hasil dari pengukuran ini menempatkan posisi kesiapan perusahaan manufaktur dalam empat level, yaitu “Tidak Siap”, “Siap Bersyarat”, “Kesiapan Dasar”, dan “Siap Penuh”. Model pengukuran kesiapan Industri 4.0 ini telah diuji kepada satu perusahaan manufaktur elektronik di Jabodetabek dan terbukti model ini dapat digunakan secara sederhana dan praktis dalam perusahaan manufaktur yang sebenarnya.

Kata kunci: *Industri 4.0, Kesiapan, Pengukuran Kesiapan, Model Kesiapan, Indeks Kesiapan, Perusahaan Manufaktur*

Abstract

Nowdays, manufacturing companies in Indonesia are facing a great challenge in Industry 4.0 era. Manufacturing companies perceive Industry 4.0 is complex and could disturb their business process with uncertainty in results by implementing it. In other side, manufacturing companies also have difficulty in assessing their readiness to start Industry 4.0 transformation process and fail to prepare strategies and action plans clearly. This research developed a measurement model of Industry 4.0 readiness with 2 aspects, 5 dimensions and 20 variables that could be used by manufacturing companies to asses their current state. The dimensions “Awareness” and “Leadership and Strategy” are used to measure company readiness in “Knowledge” aspect, while the dimensions “People and Culture”, “Technology” and “Operation” are used to measure company readiness in “Resources Capability” aspect. The result of the measurement categories the company in 4 level of readiness, i.e.: “Not Ready”, “Conditional Ready”, “Basic Readiness” and “Fully Ready”. This model has been tested and used to measure Industry 4.0 readiness for an electronic manufacturing company located in Jabodetabek and showed that the model is easy and practical to be used in a real manufacturing company.

Keywords: *Industry 4.0, readiness measurement, readiness model, readiness index, manufacturing company*

PENDAHULUAN

Industri 4.0 adalah inisiatif strategis yang diperkenalkan oleh pemerintah Jerman pada tahun 2011 di *Hannover Fair*. Tujuan dari inisiatif ini adalah untuk mentransformasi perusahaan manufaktur melalui digitalisasi dan pemanfaatan teknologi informasi dan komunikasi. Melalui strategi ini, industri diharapkan mampu meningkatkan produktivitas, merespon pasar dengan lebih cepat dan bersaing secara global. Konsep dari Industri 4.0 adalah aplikasi yang terintegrasi dari *cyber-physical system* (CPS) dan *Industrial Internet of Things* (IIoT) dengan sistem produksi yang memungkinkan pengumpulan dan pertukaran informasi dalam waktu yang sebenarnya (*real-time*) untuk mengidentifikasi, menemukan, melacak dan mengoptimisasi proses produksi dengan mengolah sejumlah besar data (*big data*) menjadi informasi yang berguna (Rojko, 2017).

Seperti negara di dunia lainnya, Indonesia juga bersiap menghadapi transformasi Industri 4.0 agar perusahaan manufaktur di Indonesia dapat bersaing secara global. Pemerintah Indonesia, sesuai dengan yang disampaikan Menteri Perindustrian Airlangga Hartarto, berkomitmen untuk meningkatkan posisi daya saing secara global dari posisi ke-41 menjadi posisi ke-39 dunia dari 138 negara yang tercatat pada *Global Competitiveness Report* tahun 2016-2017. Untuk mencapai sasaran tersebut, salah satu solusi yang tengah didorong Kementerian Perindustrian adalah memacu perusahaan manufaktur dalam negeri agar terus melakukan inovasi dengan implementasi Industri 4.0 (Kemenperin, 2017).

Inovasi-inovasi dalam Industri 4.0 akan mengarah pada peningkatan kompleksitas proses produksi pada tingkat mikro dan makro (Schuh, Potente, Varandani, & Schmitz, 2014). Perusahaan manufaktur, khususnya yang berskala kecil dan sedang, menghadapi ketidakpastian akan besarnya biaya investasi yang diperlukan untuk mengakuisisi teknologi yang baru dan dampak keseluruhan pada model bisnis mereka. Dari beberapa studi dan wawancara dengan pelaku bisnis dari berbagai perusahaan manufaktur telah menunjukkan bahwa perusahaan memiliki masalah serius untuk memahami keseluruhan gagasan dan konsep khusus Industri 4.0 ini (Schumacher, Erol & Sih, 2016; Basl, 2017). Di satu sisi, mereka tidak mampu untuk menghubungkannya dengan domain spesifik dan strategi bisnis mereka. Di sisi lain, mereka mengalami kesulitan dalam menentukan kesiapan mereka berkaitan dengan visi Industri 4.0 dan karena itu gagal menetapkan strategi, rencana aksi, program dan proyek konkret.

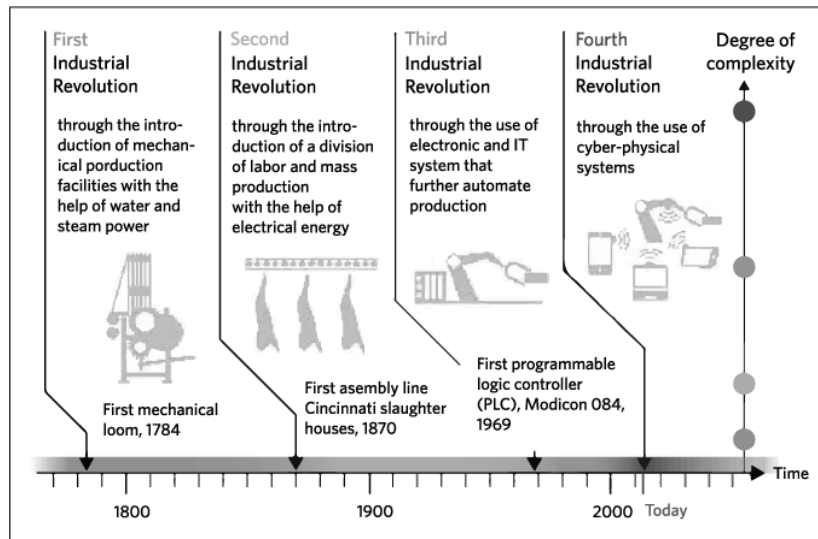
Dalam makalah ini, peneliti mengembangkan model dan instrumen pengukuran yang secara sistematis menilai kesiapan perusahaan manufaktur dalam kaitannya dengan implementasi Industri 4.0. Adalah penting bagi sebuah perusahaan manufaktur untuk mengetahui kesiapan mereka agar dapat menyusun rencana strategis dan operasional sekaligus memperkirakan biaya investasi yang dibutuhkan. Wu (2004) dalam penelitiannya menunjukkan adanya korelasi yang positif dan signifikan antara tingkat kesiapan sebuah perusahaan terhadap niat yang lebih besar dan kesuksesan dalam mengadopsi teknologi baru. Model pengukuran kesiapan ini memiliki tujuan ilmiah agar model ini dapat digunakan untuk mendapatkan data tentang keadaan terkini perusahaan manufaktur di Indonesia terkait kesiapan implementasi Industri 4.0 dan selanjutnya dapat digunakan untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang diperlukan untuk kesuksesan implementasi Industri 4.0.

TINJAUAN PUSTAKA

Industri 4.0

Sejarah Revolusi Industri secara singkat dirangkum dalam Gambar 1. Proses industrialisasi dimulai dengan diperkenalkannya peralatan manufaktur mekanik pada akhir abad ke-18 yang disebut sebagai Revolusi Industri ke-1 atau Industri 1.0. Revolusi Industri

ke-1 terkait dengan transformasi kerja manual tenaga manusia ke mekanisasi dengan menggunakan tenaga air dan tenaga uap. Dengan ini, transformasi dari masyarakat pertanian ke masyarakat industri mulai terjadi. Revolusi ini diikuti oleh Revolusi Industri ke-2 atau Industri 2.0 sekitar pergantian abad ke-20, yang melibatkan mekanik otomatis dalam proses manufaktur yang mengkonsumsi daya listrik. Industri 2.0 dikenali dengan penerapan lintasan perakitan (*line assembly*) dan pendekatan manajemen ilmiah yang dipelopori oleh Frederic W. Taylor. Industri 2.0 ini lebih dikenal sebagai era produksi massal.



(Sumber: DFKI, 2011)

Gambar 1. Sejarah Revolusi Industri

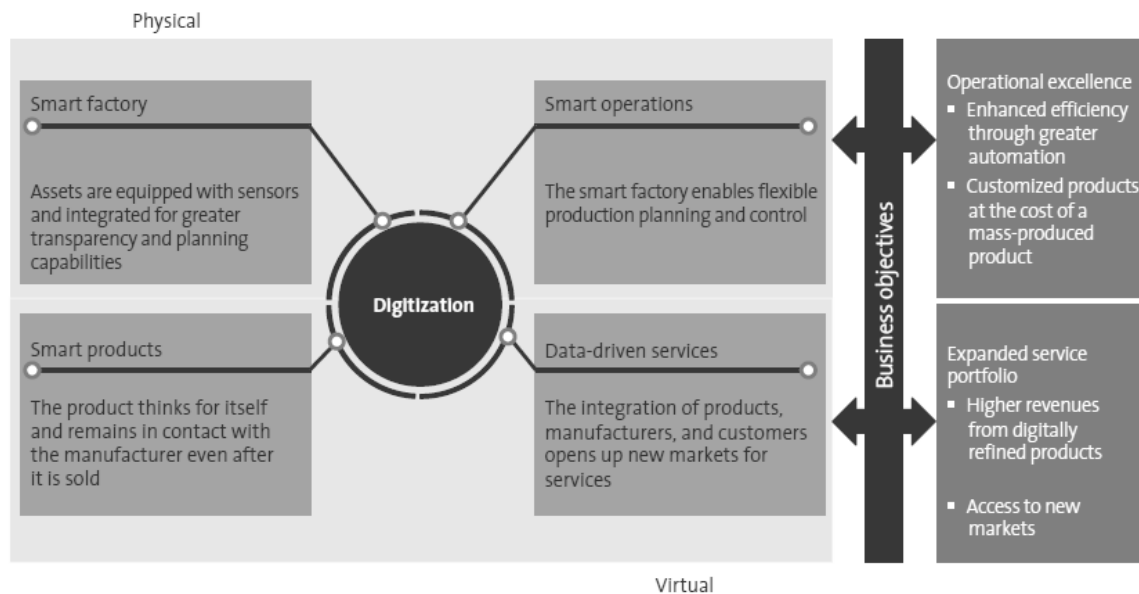
Revolusi Industri ke-3 atau Industri 3.0 dimulai sekitar tahun 1969. Revolusi ini ditandai dengan penerapan teknologi komputer untuk mencapai peningkatan otomatisasi proses pembuatan. Mesin secara bertahap mengambil alih dan menggantikan sebagian besar pekerjaan manual tenaga kerja manusia. Dalam Revolusi Industri ke-3, otomatisasi dalam industri ditingkatkan dengan mempekerjakan robot industri dan mekatronika yang dikendalikan secara otomatis menggunakan *Programmable Logic Control (PLC)*.

Perkembangan teknologi informasi dan komunikasi saat ini berupa teknologi internet menarik banyak praktisi untuk memanfaatkannya dalam proses manufaktur dengan mengintegrasikan mesin, peralatan dan pekerja untuk berbagai keuntungan. Sebuah konsep baru yang disebut sebagai *Cyber-Physical Systems (CPS)* yang menggabungkan teknologi *Internet of Things (IoT)* dengan ekosistem manufaktur memperkenalkan era baru industrialisasi, yang dipandang sebagai pergeseran paradigma yang signifikan dalam industri manufaktur, dinamakan sebagai Revolusi Industri ke-4 atau Industri 4.0.

Industri 4.0 mengacu pada kemajuan teknologi terkini di mana internet dan teknologi pendukung berfungsi sebagai tulang punggung untuk mengintegrasikan objek fisik, manusia pekerja, mesin cerdas, dan proses produksi melintasi batas organisasi untuk membentuk jenis baru kecerdasan, jaringan, dan rantai nilai yang tangkas (*agile*). Dengan demikian, dalam Industri 4.0, fasilitas fisik didukung oleh representasi virtual untuk meningkatkan otomatisasi, fleksibilitas, dan keragaman produk dengan cara memiliki proses dan sistem manufaktur terintegrasi yang lebih baik (Lichtblau et al., 2015) seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2. Kagermann et al. (2013) menifinisikan Industri 4.0 sebagai integrasi teknis CPS ke dalam manufaktur dan logistik dan penggunaan IoT dalam

proses industri yang akan memberikan implikasi untuk penciptaan nilai, model bisnis, layanan hilir dan organisasi kerja.

Industri 4.0 pertama kali diperkenalkan oleh pemerintah Jerman pada tahun 2011 dalam *Hannover Fair* dengan tujuan meningkatkan produktivitas produksi sekaligus meminimalkan biaya produksi. Perkembangan Industri 4.0 sejak saat itu memberikan hasil yang menjanjikan. Industri 4.0 memberikan keuntungan, yaitu: (1) memperpendek waktu peluncuran produk baru, (2) meningkatkan respon terhadap pelanggan, (3) memungkinkan kustomisasi dari produksi massal tanpa peningkatan biaya yang signifikan, (4) lingkungan kerja yang lebih fleksibel dan aman, serta (5) penggunaan bahan baku dan energi yang lebih efisien (Rojko, 2017; Alarcón, Perez, dan Boza, 2016).



(sumber: Lichtblau et al., 2015)

Gambar 2. Konsep Industri 4.0

Pengukuran Kesiapan Industri 4.0

Dalam beberapa penelitian bidang produksi, seringkali pengukuran kesiapan dan pengukuran kematangan dianggap sebagai satu hal yang sama dan dapat saling menggantikan satu sama lainnya (Ngai et al., 2013; Pigosso, Rozenfeld, dan McAloone, 2103; Maasouman dan Demirli, 2015). Namun, dalam penelitian ini, peneliti mengambil pendekatan dengan membedakan antara pengukuran kesiapan dan pengukuran kematangan.

Pengukuran kesiapan dilakukan di awal sebelum perusahaan mengadopsi suatu inovasi baru dengan tujuan untuk menangkap titik awal dan memungkinkan perusahaan untuk menginisialisasi pengembangan proses. Pengukuran kesiapan mengukur individu atau organisasi apakah individu atau organisasi tersebut memiliki pengetahuan yang cukup dan memiliki kemampuan terkait sumber daya yang diperlukan untuk memulai suatu proses (Viharos et al., 2017; Nick and Pongrácz, 2016). Sedangkan secara umum, istilah "kematangan" mengacu pada "keadaan lengkap, sempurna, atau penuh" dan menyiratkan beberapa kemajuan dalam pengembangan suatu sistem. Dengan demikian, kematangan (misalnya individu, organisasi atau teknologi) adalah peningkatan kapasitas dan

kemampuan dari waktu ke waktu mengenai pencapaian dibandingkan terhadap keadaan masa depan yang diinginkan (Gökalp, Şener, dan Eren, 2017).

Kesiapan ataupun kematangan dapat diukur secara kualitatif atau secara kuantitatif, secara diskrit atau kontinu (Kohlegger, Maier, dan Thalmann, 2009). Pengukuran kesiapan berlangsung sebelum proses kematangan dimulai. Sedangkan pengukuran kematangan bertujuan untuk menangkap keadaan apa adanya sementara di dalam proses pematangan yang sedang berjalan.

Sejumlah penelitian dan laporan telah dilakukan dan dipublikasikan terkait kesiapan industri menghadapi Industri 4.0 di berbagai negara. Basl (2017) melakukan penelitian percontohan mengenai kesiapan perusahaan di Republik Ceko dalam mengimplementasikan Industri 4.0 dan menemukan industri di Republik Ceko belum siap mengimplementasikan Industri 4.0 walaupun tingkat pengetahuan (*awareness*) terkait Industri 4.0 yang dimiliki oleh manajemen tingkat atas yang cukup tinggi. Demikian juga penelitian lainnya dilakukan oleh Vesa, Mladineo dan Peko (2015) yang melakukan analisa keadaan saat ini (*current state*) terhadap perusahaan di Kroasia terkait Industri 4.0. Hasil penelitian menunjukkan perusahaan di Kroasia masih jauh dari Industri 4.0. Kurang dari 30% dari perusahaan yang disurvei baru mengimplementasikan Industri 3.0 yang meliputi otomisasi, robot produksi dan lain sebagainya.

Sementara itu sebuah laporan survei yang dilakukan oleh The Manufacturer (2016), penerbit majalah cetak dan daring di bidang industri terkemuka Inggris yang menyediakan berita, artikel dan wawasan manufaktur sambil mempromosikan praktik terbaik di industri manufaktur yang bekerja sama dengan Oracle menunjukkan 69% perusahaan di Inggris siap dalam implementasi Industri 4.0. Laporan lainnya terkait kesiapan implementasi Industri 4.0 adalah survei yang dilakukan Pricewaterhouse Coopers (2016) yang melakukan survei mengenai kesiapan perusahaan di Timur Tengah mengimplementasikan Industri 4.0. Pricewaterhouse Coopers melaporkan 89% perusahaan di Timur Tengah semakin siap dalam Industri 4.0.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan mencakup tiga tahapan yang berbeda. Tahap pertama adalah studi pustaka yang dilakukan secara sistematis untuk mendapatkan pemahaman yang komprehensif mengenai Industri 4.0. Selanjutnya, dilakukan studi pustaka terkait pengukuran kesiapan dan atau pengukuran kematangan terkait Industri 4.0 secara mendalam dan terperinci. Dari hasil studi pustaka tersebut didapati 5 model pengukuran kesiapan dan atau model pengukuran kematangan terkait Industri 4.0 sebagai dasar dari penelitian yang dirangkum dalam Tabel 1. Dari kelima model tersebut dianalisis lebih lanjut apakah ada model yang memenuhi kriteria untuk dijadikan instrumen pengukuran kesiapan Industri 4.0 sesuai dengan tujuan penelitian ini. Kriteria yang digunakan untuk memilih model pengukuran kesiapan dalam penelitian ini adalah (1) konteks pengukuran, (2) kelengkapan aspek Industri 4.0 dalam pengukuran, dan (3) kepraktisan dalam melakukan pengukuran. Hasil dari analisis 5 model tersebut dirangkum dalam Tabel 2, akan tetapi ditemukan tidak ada satu pun model yang memenuhi kriteria peneliti sehingga penelitian dilanjutkan dengan tahap kedua yaitu pengembangan model pengukuran kesiapan Industri 4.0.

Tahap kedua dalam penelitian ini adalah pengembangan model pengukuran kesiapan Industri 4.0 karena tidak ditemukannya model pengukuran yang memenuhi kriteria peneliti. Dalam tahap ini, aspek, dimensi, variabel, indeks kesiapan dan presentasi visualisasi dari model pengukuran kesiapan Industri 4.0 ditetapkan. Ada 20 variabel pengukuran yang disiapkan yang dikelompokkan secara tidak merata ke dalam 2 aspek dan

5 dimensi perusahaan terkait kesiapan Industri 4.0. Konsep Industri 4.0 dan model pengukuran dari *IMPULS – Industrie 4.0 readiness* (Lichtblau et al., 2015) dijadikan sebagai acuan dalam penelitian ini karena model pengukuran tersebut memberikan penjelasan yang lengkap dan detail mengenai dimensi, variabel dan pendekatan yang digunakan dalam pengukuran.

Setelah model pengukuran kesiapan Industri 4.0 ditetapkan, tahap ketiga dilakukan dengan mentransformasikan model ke dalam instrumen pengukuran yang dapat digunakan secara praktis. Studi kasus penerapan instrumen pengukuran kesiapan Industri 4.0 dilakukan terhadap sebuah perusahaan manufaktur elektronik yang berlokasi di Jobadetabek untuk menguji instrumen pengukuran tersebut dan mendapatkan umpan balik untuk penambahbaikan instrumen pengukuran kesiapan Industri 4.0 selanjutnya.

Tabel 1. Model Pengukuran Dalam Konteks Industri 4.0

Nama Model	Sumber/Institusi	Pendekatan
The Conneced Enterprise Maturity Model	Rockwell Automation (2014)	Sesuai namanya, model yang dikembangkan adalah pengukuran kematangan, terdiri dari 4 dimensi yang semuanya berfokus kepada kematangan teknologi informasi (IT). Hasil pengukuran menempatkan perusahaan dalam 5 tingkat kematangan.
RB Industry 4.0 Readiness Index	Roland Berger Strategy Consultants (2014)	Pengukuran kesiapan dalam 2 dimensi dengan masing-masing dimensi terdiri dari 4 variabel. Hasil dari pengukuran menempatkan perusahaan dalam kuadran matriks 2 x 2, yaitu <i>readiness indeks vs. manufacturing share</i> .
IMPULS – Industrie 4.0 Readiness, VDMA’s IMPULS-Stiftung	Lichtblau et al. (2015)	Pengukuran kesiapan Industri 4.0 terdiri dari 6 dimensi dan 18 variabel. Hasil pengukuran sebuah perusahaan akan dibandingkan dengan hasil perusahaan-perusahaan sejenis dalam 5 tingkat kesiapan.
Industry 4.0 / Digital Operations Self Assessment	Pricewaterhouse Coopers (2016)	Pengukuran kematangan secara mandiri (<i>self-assessment</i>) terdiri 6 dimensi dan 17 variabel yang berfokus pada kematangan teknologi dan proses digital. Sebelum melakukan pengukuran, perusahaan menetapkan target kematangan untuk setiap variable dan hasil pengukuran menempatkan perusahaan dalam 3 level kematangan.
The Singapore Smart Industry Readiness Index	EDB Singapore (2017)	Pengukuran kesiapan yang terdiri dari 3 blok, 8 pilar dan 16 dimensi yang disusun berdasarkan RAMI 4.0. Pengukuran dilakukan dengan membandingkan keadaan saat ini dengan target yang ingin dicapai.

Tabel 2. Hasil Analisis Kriteria Model Pengukuran Dalam Konteks Industri 4.0

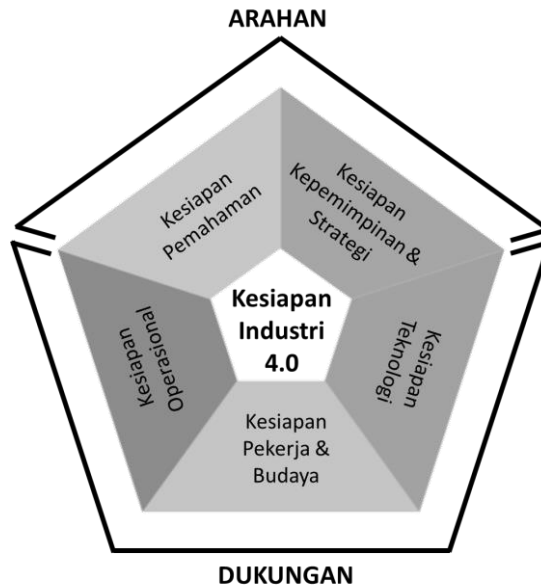
Nama Model	Kriteria 1 Konteks Pengukuran	Kriteria 2 Kelengkapan Aspek	Kriteria 3 Kepraktisan
The Conneced Enterprise Maturity Model	Tidak sesuai, model ini mengukur kematangan, bukan mengukur kesiapan sesuai dengan tujuan penelitian.	Tidak lengkap, hanya mengukur aspek teknologi informasi (IT)	Tidak ada penjelasan detail bagaimana proses pengukuran dilakukan
RB Industry 4.0 Readiness Index	Sesuai, model ini mengukur kesiapan Industri 4.0	Kurang lengkap, hanya 2 dimensi saja yang diukur, yaitu <i>industrial excellence</i> dan <i>value network</i> .	Kurang praktis, untuk menentukan kesiapan perusahaan berada di kuadran mana diperlukan informasi <i>manufacturing share</i> .
IMPULS – Industrie 4.0 Readiness, VDMA’s IMPULS-Stiftung	Sesuai, model ini mengukur kesiapan Industri 4.0	Lengkap, 6 dimensi yang diukur yaitu (1) <i>strategy & organization</i> ; (2) <i>smart factory</i> ; (3) <i>smart operations</i> ; (4) <i>smart products</i> ; (5) <i>data-driven services</i> ; (6) <i>employees</i>	Kurang praktis, untuk menentukan tingkat kesiapan perusahaan terkait Industri 4.0 diperlukan data industry terkait agar dapat dibandingkan.
Industry 4.0 / Digital Operations Self Assessment	Tidak sesuai, dalam pengukuran perusahaan menetapkan target sebelum memberikan penilaian, sehingga model ini dapat dikategorikan sebagai pengukuran kematangan.	Tidak lengkap, walaupun mengukkur 6 dimensi tetapi hanya berfokus pada teknologi dan proses digital	Dilakukan secara mandiri, tetapi dapat menghasilkan pengukuran yang kurang akurat diakibatkan kekurangpahaman responden akan konsep dan prinsip Industri 4.0
The Singapore Smart Industry Readiness Index	Walaupun nama model ini adalah indeks kesiapan, tetapi pada instrumen pengukuran ada target yang ingin dicapai sehingga model ini dapat dikategorikan sebagai pengukuran kematangan.	Lengkap, disusun berdasarkan <i>Reference Architectural Model Industrie 4.0</i> (RAMI 4.0)	Kurang praktis, variabel terlalu banyak dengan definisi untuk setiap keadaan (state) dari masing-masing yang relative sulit dipahami oleh responden. Responen harus memiliki pemahaman konsep dan prinsip Industri 4.0 yang mendalam.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengembangan Model Pengukuran Kesiapan Industri 4.0

Model pengukuran Kesiapan Industri 4.0 didesain untuk dapat digunakan berbagai jenis dan skala perusahaan manufaktur. Oleh karena itu, model yang didesain harus tidak terlalu kompleks dan bersifat universal untuk setiap jenis dan skala perusahaan manufaktur agar model tersebut tidak kehilangan kepraktisannya. Model pengukuran kesiapan Industri 4.0 didisain dengan dua aspek utama untuk memulai proses transformasi Industri 4.0, yaitu aspek “Pengetahuan” dan aspek “Kemampuan Sumber Daya”. Aspek “Pengetahuan” terdiri dari 2 dimensi yaitu dimensi “Pemahaman Industri 4.0” dan dimensi “Kepemimpinan dan Strategi”, sementara aspek “Kemampuan Sumber Daya” terdiri dari dimensi “Pekerja dan Budaya”, dimensi “Teknologi” dan dimensi “Proses”. Masing-

masing dimensi memiliki sejumlah variabel pengukuran dengan jumlah yang tidak merata. Gambar 3 menggambarkan model pengukuran kesiapan Industri 4.0, sedangkan Tabel 3 merangkum secara ringkas kelima dimensi pengukuran tersebut beserta dengan variabelnya untuk masing-masing dimensi.



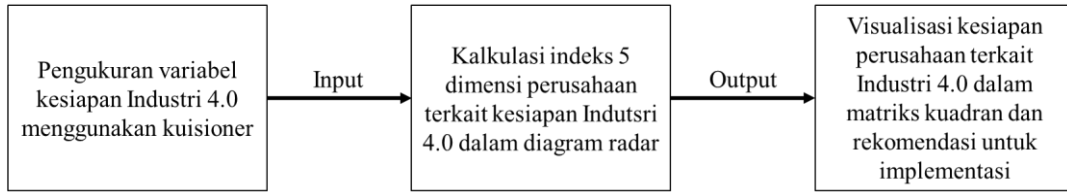
(Sumber: diolah peneliti)

Gambar 3. Model pengukuran kesiapan Industri 4.0

Tabel 3. Dimensi dan Variable Model Pengukuran Kesiapan Industri 4.0

Dimensi	Variabel Kesiapan
Pemahaman Industri 4.0	(1) Kesadaran akan Industri 4.0; (2) Konsep dan prinsip Industri 4.0; (3) Potensi hasil implementasi Industri 4.0
Kepemimpinan dan Strategi	(1) Keinginan manajemen puncak untuk implementasi Industri 4.0; (2) Strategi implementasi Industri 4.0; (3) Gugus tugas (tim) Industri 4.0; (4) Anggaran Industri 4.0
Pekerja dan Budaya	(1) Kompetensi pekerja dalam bidang ICT; (2) keterbukaan akan inovasi baru; (3) kerja sama tim; (4) kolaborasi antar divisi/ departemen
Teknologi	(1) Teknologi ICT modern yang dimiliki (internet kecepatan tinggi, <i>cloud service</i> , RFID, sensor, robot, dsb.); (2) Kendali mesin jarak jauh/otomatis menggunakan teknologi komputer (IT); (3) <i>Machine-to-machine communication</i> ; (4) Keamanan teknologi informasi (<i>IT security</i>)
Operasional	(1) Fleksibilitas produksi; (2) Penggumpulan data secara otomatis; (3) Sistem komputer pendukung operasional (ERP, MRP, PLM, CRM, SCM, CAD/CAM, CMM, dsb.); (4) Monitor proses operasional secara <i>real-time</i> ; (5) Analisis data

Model pengukuran kesiapan Industri 4.0 diimplementasikan dalam tiga langkah prosedur seperti dalam Gambar 4 berikut.



(Sumber: diadaptasi dari Schumacher, Erol dan Sihm, 2016)

Gambar 4. Tiga langkah prosedur implementasi pengukuran kesiapan Industri 4.0

Pengukuran variabel kesiapan dalam suatu perusahaan dilakukan dengan menggunakan kuesioner standar terdiri dari satu pertanyaan tertutup untuk setiap variabel. Setiap pertanyaan membutuhkan jawaban dengan skala Likert yang yaitu 1-"Sangat tidak setuju/Sangat tidak penting/Tidak diimplementasi" sampai dengan 5-"Sangat setuju/Sangat penting/Diimplementasi sepenuhnya". Sebagai contoh, untuk variabel "Kompetensi pekerja dalam bidang ICT" dalam Dimensi "Pekerja dan Budaya" pertanyaan dalam kuisisioner seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Contoh Pernyataan Pengukuran Kesiapan Industri 4.0

Pernyataan Kuisisioner	1	2	3	4	5
Pekerja dalam perusahaan memiliki pengetahuan dan kompetensi dalam bidang ICT	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

1-Sangat tidak setuju, 5-Sangat setuju

Kuisisioner dapat dijawab dengan benar apabila responden yang menjawab kuisisioner memiliki pengetahuan dasar mengenai konsep dasar Industri 4.0 dan memiliki pengetahuan keseluruhan mengenai keadaan dimensi perusahaan saat ini. Oleh sebab itu responden untuk pengukuran ini minimum level manajer dan dapat lebih dari satu orang sesuai dengan dimensi perusahaan yang diketahuinya. Sedangkan mode pengukurannya dengan pendampingan auditor eksternal, dalam hal ini peneliti sebagai auditor eksternal, sehingga responden dapat bertanya dan berdiskusi jika ada pernyataan dalam kuisisioner yang tidak atau kurang dipahami. Dengan demikian akan meningkatkan keterwakilan dan akurasi dari kuisisioner.

Langkah selanjutnya adalah menghitung indeks kesiapan (I_D) untuk masing-masing dimensi perusahaan. Indeks kesiapan dimensi adalah nilai rata-rata dari indeks kesiapan variabel (V_{Di}) dalam dimensi tersebut atau dapat dituliskan dalam rumus:

$$I_D = \frac{\sum_{i=1}^n V_{Di}}{n} \tag{1}$$

Dimana:

I_D : Indeks kesiapan dimensi

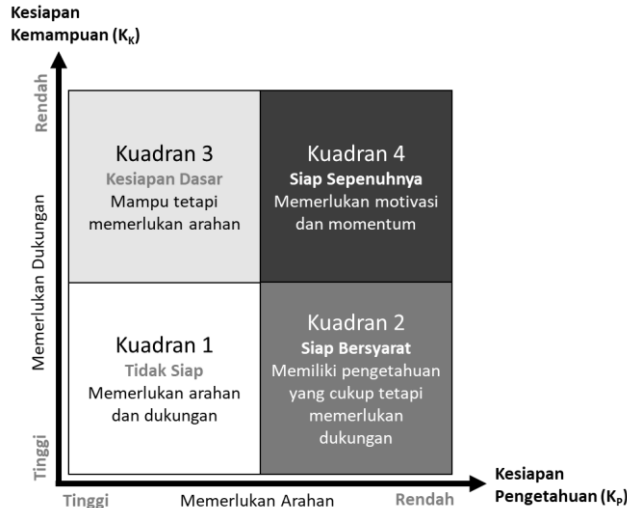
V_{Di} : Nilai variabel ke-i dalam dimensi

n : Jumlah variabel dalam dimensi

Diagram radar digunakan untuk menggambarkan indeks kesiapan Industri 4.0 secara keseluruhan sehingga perusahaan dapat menilai pada dimensi mana perusahaan telah memiliki tingkat kesiapan yang tinggi dan pada dimensi mana perusahaan memiliki kesiapan yang rendah terkait Industri 4.0

Hasil dari pengukuran kesiapan harus dapat membantu perusahaan dalam bertransformasi menuju Industri 4.0 dengan memberikan rekomendasi untuk meningkatkan pengetahuan akan Industri 4.0 dan kemampuan untuk implementasi Industri 4.0. Untuk

memudahkan perusahaan menyusun strategi dan rencana kerja Industri 4.0, hasil pengukuran aspek kesiapan Industri, yaitu aspek “Pengetahuan” (K_P) dan aspek “Kemampuan Sumber Daya” (K_K) digambarkan dalam bentuk matriks kuadran seperti ditunjukkan dalam Gambar 5.



(Sumber: diadaptasi dari Pratts, 1998)

Gambar 5. Matriks kuadran kesiapan perusahaan terkait Industri 4.0

Masing-masing nilai aspek K_P dan nilai aspek K_K dihitung dari rata-rata indeks dimensi (I_D) yang berada dalam aspek terkait, yaitu dengan rumus berikut:

$$K_P = \frac{I_{D(P)} + I_{D(KS)}}{2} \quad (2)$$

$$K_K = \frac{I_{D(PB)} + I_{D(T)} + I_{D(O)}}{3} \quad (3)$$

Dimana:

- K_P : Indeks kesiapan aspek pengetahuan
- K_K : Indeks kesiapan aspek kemampuan terkait sumber daya
- $I_{D(P)}$: Indeks kesiapan dimensi pemahaman Industri 4.0
- $I_{D(KS)}$: Indeks kesiapan dimensi kepemimpinan dan strategi
- $I_{D(PB)}$: Indeks kesiapan dimensi pekerja dan budaya
- $I_{D(T)}$: Indeks kesiapan dimensi teknologi
- $I_{D(O)}$: Indeks kesiapan dimensi operasional

Perusahaan manufaktur yang memiliki nilai K_P rendah dan nilai K_K rendah berada dalam kuadran 1, level “Tidak Siap” yang berarti perusahaan tidak memiliki pengetahuan yang cukup dan tidak memiliki kemampuan sumber daya yang diperlukan untuk memulai proses transformasi Industri 4.0. Perusahaan yang berada di kuadran 1 memerlukan arahan yang tinggi akan pemahaman serta kepemimpinan dan strategi terkait Industri 4.0 dan juga dukungan yang tinggi untuk meningkatkan kemampuan sumber daya pekerja, teknologi dan operasional.

Perusahaan manufaktur yang memiliki nilai K_P tinggi dan nilai K_K rendah berada dalam kuadran 2, level “Siap Bersyarat” yang berarti perusahaan sudah memiliki

pengetahuan yang cukup terkait Industri 4.0, tetapi tidak memiliki kemampuan sumber daya yang diperlukan untuk memulai proses transformasi Industri 4.0. Perusahaan yang berada di kuadran 2 memerlukan arahan yang rendah tetapi memerlukan dukungan yang tinggi untuk meningkatkan kemampuan sumber dayanya agar segera dapat memulai proses transformasi Industri 4.0.

Perusahaan manufaktur yang berada di kuadran 3, level “Kesiapan Dasar” adalah perusahaan yang memiliki K_P rendah dan nilai K_K tinggi. Perusahaan ini sudah memiliki kemampuan sumber daya untuk memulai proses transformasi Industri 4.0, akan tetapi belum memiliki pengetahuan yang memadai. Perusahaan yang berada di kuadran ini perlu mendapatkan arahan yang tinggi agar memiliki pengetahuan terkait Industri 4.0 namun memerlukan dukungan yang rendah. Apabila perusahaan ini telah memiliki pengetahuan yang cukup, perusahaan ini dapat dengan segera memulai proses transformasi Industri 4.0 karena pada dasarnya sudah memiliki kemampuan.

Sedangkan perusahaan manufaktur yang berada di kuadran 4, level “Siap Sepenuhnya” adalah perusahaan yang memiliki baik nilai K_P maupun nilai K_K tinggi. Perusahaan yang berada di kuadran ini sudah siap sepenuhnya untuk memulai proses transformasi Industri 4.0. Perusahaan yang berada di kuadran 4 ini sudah memiliki pengetahuan yang cukup terkait Industri 4.0 dan memiliki kemampuan sumber daya yang diperlukan, memerlukan arahan dan dukungan yang rendah, hanya saja memerlukan motivasi dan momentum yang tepat untuk segera memulai proses transformasi Industri 4.0.

Studi Kasus Pada Sebuah Perusahaan Manufaktur

Untuk menguji model yang dikembangkan, sebuah perusahaan manufaktur elektronik dengan jumlah pekerja lebih dari 1000 orang yang berlokasi di Jabodetabek dipilih dan dilakukan proses pengukuran kesiapan Industri 4.0 menggunakan model tersebut. Proses pengukuran dilakukan dengan didampingi oleh peneliti untuk memberikan penjelasan setiap item pernyataan dalam kuisiонер sehingga didapatkan akurasi yang diinginkan. Hasil respon perusahaan terhadap setiap item pernyataan dalam kuisiонер dirangkum dalam Tabel 5.

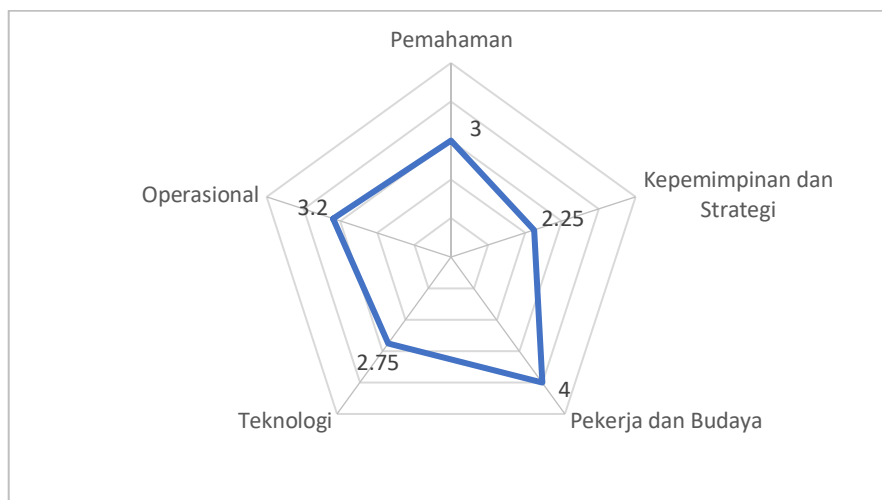
Tabel 5. Respon Perusahaan Terhadap Item Kuisiонер

Dimensi	Variabel	Respon Perusahaan
Pemahaman	Kesadaran akan Industri 4.0	5
	Konsep dan prinsip Industri 4.0	2
	Potensi hasil implementasi Industri 4.0	2
Kepemimpinan dan Strategi	Keinginan implementasi Industri 4.0	4
	Strategi implementasi Industri 4.0	2
	Gugus tugas (tim) Industri 4.0	1
	Anggaran Industri 4.0	2
Pekerja dan budaya	Kompetensi ICT	3
	Keterbukaan inovasi baru	4
	Kerja sama tim	5
	Kolaborasi antar divisi/departemen	4
	Teknologi ICT modern	4
	Kendali mesin jarak jauh dan otomatis	2
	Machine-to-machine communication	1
Keamanan teknologi informasi (IT security)	4	

Tabel 5. Respon Perusahaan Terhadap Item Kuisisioner (Lanjutan)

Dimensi	Variabel	Respon Perusahaan
Operasional	Flesibillitas produksi	2
	Pengumpulan data otomatis	2
	Sistem komputer penunjang operasional	5
	Monitor proses real-time	2
	Analisis Data	5

Selanjutnya dilakukan perhitungan indeks kesiapan untuk masing-masing dimensi (I_D) dan didapatkan nilai $I_{D(P)} = 3.00$; $I_{D(KS)} = 2.25$; $I_{D(PB)} = 4.00$; $I_{D(T)} = 2.75$ dan $I_{D(O)} = 3.20$. Indeks kesiapan untuk setiap dimensi perusahaan divisualisasikan dalam Gambar 6. Diagram radar digunakan untuk menggambarkan kesiapan semua dimensi perusahaan.



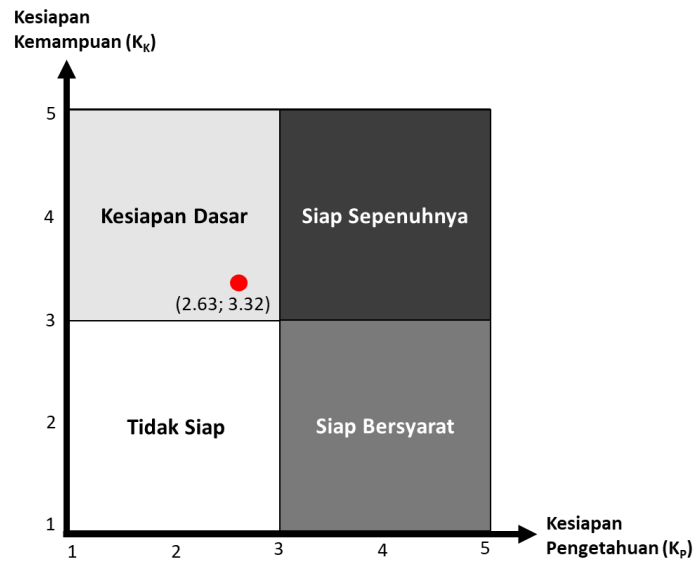
(Sumber: diolah peneliti)

Gambar 6. Diagram radar kesiapan dimensi perusahaan

Untuk mengetahui level kesiapan perusahaan, langkah terakhir adalah menghitung kesiapan aspek pengetahuan (K_P) dan kesiapan aspek kemampuan (K_K) sebagai berikut:

$$K_P = \frac{3.00 + 2.25}{2} = 2.63 \quad \text{dan} \quad K_K = \frac{4.00 + 2.75 + 3.20}{3} = 3.32$$

Berdasarkan matriks kuadran yang ditunjukkan Gambar 7, maka level kesiapan perusahaan terkait Industri 4.0 berada pada “Kesiapan Dasar”.



(Sumber: diolah peneliti)

Gambar 7. Hasil pengukuran kesiapan Industri 4.0 perusahaan

Kesiapan Industri 4.0 perusahaan berada pada level “Kesiapan Dasar” berarti perusahaan belum memiliki pengetahuan yang memadai akan Industri 4.0. Dimensi kepemimpinan dan strategi memiliki indeks yang terkecil, yaitu 2.25 dikarenakan walaupun perusahaan memiliki keinginan untuk bertransformasi ke Industri 4.0 tetapi perusahaan tidak memiliki strategi yang jelas bagaimana proses transformasi akan dijalankan, belum membentuk gugus kerja/tim khusus untuk melakukan transformasi serta anggaran Industri 4.0 yang belum menjadi prioritas. Sedangkan dari dimensi pemahaman Industri 4.0, walaupun semua jajaran manajemen (level manajer ke atas) telah mendengar tentang Industri 4.0 akan tetapi mereka belum memahami sepenuhnya mengenai konsep dan prinsip Industri 4.0 serta belum meyakini sepenuhnya keuntungan yang akan didapatkan dari implementasi Industri 4.0. Oleh sebab itu diperlukan arahan untuk meningkatkan aspek pengetahuan perusahaan untuk dimensi kepemimpinan dan strategi dan dimensi pemahaman Industri 4.0.

Sedangkan dari aspek kemampuan sumber daya, perusahaan dinilai sudah mampu untuk melakukan transformasi Industri 4.0, terutama dari dimensi pekerja dan budaya yang memiliki indeks kesiapan tertinggi, yaitu 4.00. Pekerja (level leader produksi ke atas) sudah memiliki literasi komputer tetapi harus meningkatkan kompetensinya dalam bidang ICT. Budaya pekerja yang didukung dengan keterbukaan akan hal baru, kerja sama tim dan kolaborasi antar departemen/divisi yang baik menjadi modal utama dalam bertransformasi ke Industri 4.0. Perusahaan perlu meningkatkan kemampuan machine-to-machine communication serta kendali mesin jarak jauh/otomatis pada dimensi teknologi dan meningkatkan kemampuan pengumpulan data secara otomatis serta pengawasan proses secara real-time pada dimensi operasional.

Peneliti mendapatkan umpan balik yang positif dari perusahaan yang diukur terkait kejelasan item pernyataan dalam kuisioner, perhitungan indeks kesiapan dan analisis hasil pengukuran yang diperoleh. Umpan balik tersebut memberikan masukan dan wawasan kepada peneliti sehingga peneliti dapat mengidentifikasi perbaikan yang diperlukan atas model pengukuran kesiapan Industri 4.0 dan pengembangan lebih lanjut dari model tersebut.

PENUTUP

Kesimpulan

Penelitian ini telah menghasilkan model dan instrumen pengukuran kesiapan Industri 4.0. Model ini dikembangkan dengan menggunakan beberapa metode pendekatan termasuk studi literatur yang sistematis, model konseptual dan metode kualitatif dan kuantitatif untuk validasi model secara empiris. Model pengukuran kesiapan Industri yang dikembangkan terdiri dari 2 aspek yaitu aspek pengetahuan dan aspek kemampuan sumber daya, 5 dimensi, yaitu dimensi pemahaman, dimensi kepemimpinan dan strategi, dimensi pekerja dan budaya, dimensi teknologi dan dimensi operasional dengan 20 variabel yang tersebar secara tidak merata dalam masing-masing dimensi. Dari hasil pengukuran kesiapan ini didapatkan level kesiapan perusahaan terkait Industri 4.0 dalam 4 level, yaitu “Tidak Siap”, “Siap Bersyarat”, “Kesiapan Dasar” dan “Siap Sepenuhnya”.

Sasaran model pengukuran kesiapan Industri 4.0 ditujukan untuk perusahaan manufaktur di Indonesia yang memproduksi barang jadi dengan fasilitas produksi milik mereka sendiri untuk pelanggan tertentu baik *B2B* maupun *end customer*. Salah satu umpan balik penting yang didapatkan dari interview dengan praktisi selama pengujian model adalah bahwa setiap dimensi yang diukur memiliki kepentingan atau bobot yang berbeda antar satu sama lainnya. Sebagai contoh dimensi pemahaman dan dimensi teknologi memiliki kontribusi yang berbeda terhadap kesiapan Industri 4.0. Model pengukuran kesiapan Industri 4.0 tersebut memberikan bobot untuk masing-masing dimensi sesuai dengan kontribusinya terhadap kesiapan Industri 4.0. Penelitian selanjutnya akan mengidentifikasi bobot untuk masing-masing dimensi dan juga masing-masing variabel di setiap dimensi untuk mendapatkan hasil pengukuran yang lebih akurat.

Sebagai catatan akhir, model pengukuran kesiapan Industri 4.0 ini tidak dimaksudkan untuk membuat proses transformasi Industri 4.0 menjadi mudah dan otomatis. Namun, model pengukuran kesiapan Industri 4.0 ini sebagai alat untuk menilai kesiapan perusahaan yang merefleksikan pengetahuan dan kemampuan yang dimiliki terkait Industri 4.0 dan sebagai alat pengambilan keputusan dalam strategi, rencana kerja dan target dalam proses transformasi 4.0.

DAFTAR PUSTAKA

- Alarcón F., Perez D. and Boza A. 2016. Using The Internet of Things in a Production Planning Context. *Brazilian Journal of Operations & Production Management*, Vol. 13(1), 72-76.
- Basl J. 2017. Pilot Study of Readiness of Czech Companies to Implement the Principles of Industry 4.0. *Management and Production Engineering Review*, Vol. 8(2), 3-8.
- DFKI - German Research Center for Artificial Intelligence. 2011. *From Industry 1.0 to Industry 4.0*.
- Gökalp, E., Şener, U., and Eren, P., E. 2017. Development of an assessment model for Industry 4.0: Industry 4.0-MM. *International Conference on Software Process Improvement and Capability Determination*, Software Process Improvement and Capability Determination.
- Kagermann, H., Wahlster. W, Held, J., and Deutsche P.A., 2013, Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0, Final Rep. Ind. 4.0 WG. 82.
- Kemenperin. 2017. Industri 4.0 Solusi Peningkatan Daya Saing Indonesia. Tersedia pada: <http://www.kemenperin.go.id/artikel/17432/Industri-4.0-Solusi-Peningkatan-Daya-Saing-Indonesia>, diakses pada: 19-01-2018.

- Kohlegger, M., Maier, R. and Thalmann, S., 2009, Understanding Maturity Models Results of a structured Content Analysis, presented at the IKNOW '09 and I-SEMANTICS '09, Graz, Austria.
- Lichtblau, K., Stich, V., Bertenrath, R., Blum, M., Bleider, M., Millack, A., Schmitt, K., Schmitz, E., and Schröter, M., 2015, IMPULS - Industrie 4.0-Readiness, Impuls-Stiftung des VDMA, Aachen-Köln.
- Maasouman M. A. and Demirli K. 2015. Assessment of Lean Maturity Level in Manufacturing Cells/ *IFAC-PapersOnLine*, Vol. 48(3), 1876–1881.
- Ngai E. W., Chau D. C. K., Poon J. K. L. and To C. K. M. 2013. Energy and Utility Management Maturity Model for Sustainable Manufacturing Process. *International Journal of Production Economics*, Vol. 146(2), 453–464.
- Nick, G. and Pongrácz, F. 2016. How to measure industry 4.0 readiness of cities. *Scientific Proceedings I: International Scientific Conference Industry 4.0*
- Pigosso D. C. A., Rozenfeld H. and McAloone T. C. 2013. Ecodesign Maturity Model: a Management Framework to Support Ecodesign Implementation into Manufacturing Companies. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 59, 160–173.
- Pratt, D.D. 1998. *Five Perspectives on Teaching in Adult and Higher Education*. Malabar: Krieger Publishing.
- Pricewaterhouse Coopers, 2016, The Industry 4.0/Digital Operations Self Assessment.
- Pricewaterhouse Coopers, 2016, Middle East Industry 4.0 Survey - Industry 4.0: Building the Digital Industrial Enterprise.
- Rockwell Automation, 2014, The Connected Enterprise Maturity Model.
- Rojko A. 2017. Industry 4.0 Concept: Background and Overview. *International Journal of Interactive Mobile Technologies (IJIM)*, Vol. 11(5).
- Roland Berger Strategy Consultants, 2014, INDUSTRY 4.0 – The new industrial revolution.
- Singapore Economic Development Board, 2017, The Singapore Smart Industry Readiness Index.
- Schuh G., Potente T., Varandani R. and Schmitz T. 2014. Global Footprint Design Based on Genetic Algorithms – An Industry 4.0 Perspective. *CIRP Annals - Manuf. Technology*, Vol. 63(1), 433–436.
- Schumacher A., Erol S. dan Sihh W. 2016. A Maturity Model for Assessing Industry 4.0 Readiness and Maturity of Manufacturing Enterprises. *Procedia CIRP*, Vol. 52, 161-166.
- The Manufacturer. 2016. The Manufacturer Industry 4.0 UK Readiness Report. Tersedia PADA: <https://www.themanufacturer.com/reports-whitepapers/the-manufacturer-industry-4-0-uk-readiness-report/>, diakses pada: 19-01-2018.
- Veza, I., Mladineo, M., dan Peko, I. 2015. Analysis of the current state of Croatian manufacturing industry with regard to Industry 4.0, *Conference Paper: 5th International Scientific Conference on Production Engineering – CIM 2015 Zagreb*.
- Viharos, Z., J., Soós, S., Nick, G., Várgedő, T., and Beregi, R., 2017, Non-comparative, Industry 4.0 readiness evaluation for manufacturing enterprises, *Technical Diagnostics in Cyber-Physical Era*, 15th IMEKO TC10 Workshop on Technical Diagnostics.
- Wu C. 2004. A Readiness Model for Adopting Web Services. *Journal of Enterprise Information Management*, Vol. 17(5), 361-371.