

MODIFIKASI ASSESSMENT TOOLS READINESS INDUSTRY 4.0 PADA PERUSAHAAN MANUFAKTUR

Febrina Agusti*, Muhammad Syarqim Muhfudz, Fajar Tri Risqi, dan Kumaratih Kumaratungga Dewi

Departemen Teknik Industri, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Duta Bangsa Surakarta,
Jl. Pinang Raya No.47, Kampus UDB Cemani, Sukoharjo, Indonesia 57552

(Received: November 15, 2022/ Accepted: February 13, 2023)

Abstrak

Kesiapan menghadapi Industry 4.0 dapat dilakukan dengan melakukan penilaian. Berdasarkan model penilaian terdahulu menghasilkan kerangka kerja yang dapat dimodifikasi. Tujuan pada penelitian ini adalah modifikasi alat penilaian kesiapan Industry 4.0 agar dapat sesuai dengan situasi dan kondisi perusahaan yang ada di Indonesia. Implementasi penilaian akan dilakukan di Kota Surakarta yaitu perusahaan textile dan rokok. Metode yang digunakan yaitu Metode Delphi dan Analytical Hierarchy Process (AHP). Hasil dari penelitian yaitu didapatkan 2 indikator baru untuk menilai kesiapan Industry 4.0 yang sudah tervalidasi yaitu Indikator Sosial Teknologi dan Indikator Penelitian dan Pendanaan yang masuk pada Aspek Organisasi dan Budaya. Penilaian secara keseluruhan pada perusahaan sektor textile memiliki nilai kesiapan Industry 4.0 sebesar 0,94 dan perusahaan sektor rokok sebesar 0,82, dimana kedua sektor perusahaan masuk pada kriteria level 1 yaitu tahap awal penerapan Industry 4.0. Rekomendasi yang dirumuskan untuk langkah preventif kesiapan perusahaan menghadapi Industry 4.0 yaitu inovasi barcode pada kemasan, pembentukan divisi penelitian, inovasi mesin otomatis, dan sosialisasi industry 4.0.

Kata kunci: modifikasi; kesiapan; alat penilaian; Industry 4.0

Abstract

[*Modification of Assessment Tools Readiness Industry 4.0 in Manufacturing Companies*] Readiness for Industry 4.0 can be done by conducting an assessment. Based on the previous assessment model, it produces a framework that can be modified. The aim of this research is to modify the Industry 4.0 readiness assessment tool so that it is in accordance with the situation and conditions of companies in Indonesia. The implementation of the assessment will be carried out in Surakarta City, namely textile and cigarette companies. The method used is the Delphi method and the Analytical Hierarchy Process (AHP). The results of the study obtained 2 new indicators to assess the readiness of industry 4.0 which have been validated, namely Social Technology Indicators and Research and Funding Indicators which are included in Organizational and Cultural Aspects. The overall assessment of the textile sector companies has an industrial readiness value of 0.94 for industry 4.0 and for cigarette sector companies of 0.82, where both company sectors are included in the level 1 criteria, namely the initial stage of implementing Industry 4.0. Recommendations formulated for preventive steps for company readiness to face Industry 4.0, namely innovation of barcodes on packaging, establishment of research divisions, innovation of automation machines, and socialization of industry 4.0.

Keywords: modification; readiness; assessment tool; Industry 4.0

1. Pendahuluan

Industri 4.0 pertama kali diperkenalkan oleh Kementerian Federal Pendidikan dan Riset, Jerman pada tahun 2011 dengan nama istilah *Industry 4.0*. Industri 4.0 merupakan strategi pengembangan teknologi baru di bidang industri manufaktur untuk memberi solusi terhadap *megatrend*, seperti *mass*

customization, digitalisasi, dan produk *life cycle* yang sangat singkat (Kementerian Perindustrian Republik Indonesia, 2018; Tan, dkk., 2019; Timur & Ngakan, 2019). Lebih lanjut, Industri 4.0 dapat ditandai dengan peningkatan digital manufaktur pada empat faktor yaitu peningkatan volume data, kekuatan komputasi dan konektivitas; munculnya analisis, kemampuan dan kecerdasan bisnis; terjadinya bentuk interaksi baru antara manusia dan mesin; dan instruksi transfer digital ke dunia fisik. Berdasarkan strategi tersebut, perusahaan manufaktur diharapkan mampu

*Penulis Korespondensi.

E-mail: febrinaagusti@gmail.com

meningkatkan produktivitas, respon pasar dengan lebih cepat dan dapat bersaing secara global (Berger, 2014; Tan, dkk., 2019).

Industri 4.0 telah menjadi isu yang sering didengar dalam berbagai forum di Indonesia. Saat ini, Indonesia sedang menghadapi transformasi Industri 4.0 seperti halnya negara di seluruh dunia. Berdasarkan Tan, dkk. (2019), Kementerian Perindustrian Republik Indonesia berkomitmen untuk meningkatkan posisi daya saing perusahaan manufaktur secara global dari posisi ke-41 menjadi ke-39 dunia dari 138 negara yang tercatat oleh *Global Competitiveness Report* tahun 2016-2017. Perusahaan manufaktur sendiri merupakan salah satu sektor ekonomi yang berkontribusi besar dalam pertumbuhan ekonomi di Indonesia (Mahfudz dan Dharma, 2021). Sehingga saat perusahaan manufaktur dapat bersaing di dunia secara tidak langsung akan meningkatkan perekonomian negara. Maka untuk mencapai target dan tujuan tersebut, salah satu solusi yang dapat dilakukan yaitu dengan memacu perusahaan manufaktur agar terus melakukan inovasi dengan implementasi Industri 4.0.

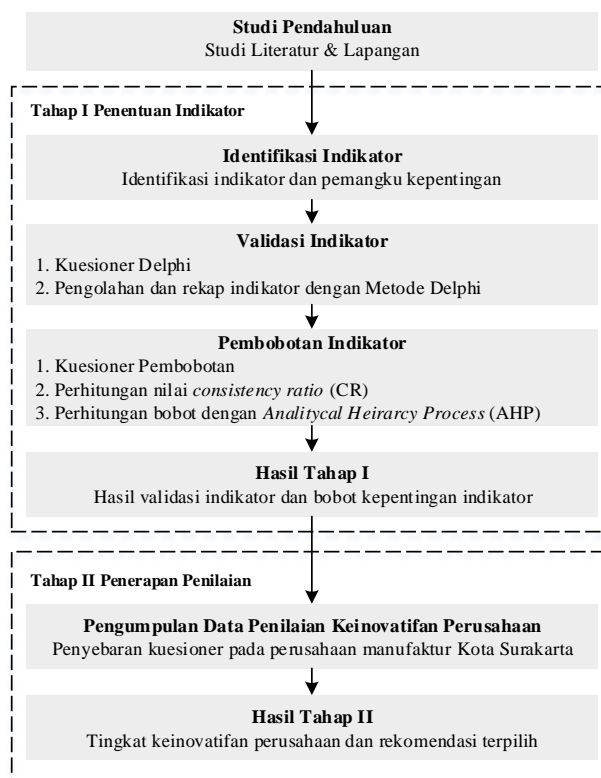
Inovasi dalam Industri 4.0 mengarah pada peningkatan kompleksitas proses produksi di suatu perusahaan (Schuh, dkk., 2014; Gokalp, dkk., 2017; Muller, dkk., 2018). Perusahaan manufaktur menghadapi ketidakpastian akan besarnya biaya investasi yang diperlukan untuk mengakuisisi teknologi baru dan dampak keseluruhan pada model bisnis. Berdasarkan beberapa studi menunjukkan bahwa perusahaan manufaktur memiliki permasalahan serius untuk memahami keseluruhan gagasan dan konsep Industri 4.0 (Schumacher, dkk., 2016). Selain itu juga mengalami kesulitan dalam menentukan kesiapan menghadapi Industri 4.0, sehingga gagal

menetapkan rencana strategis (Basl, 2017; Basl, 2018; Botha, 2018).

Kesiapan menghadapi Industri 4.0 dapat dilakukan dengan melakukan penilaian (Shinohara, 2017; Utomo, dkk., 2019). Berdasarkan penilaian yang dilakukan, perusahaan akan mengetahui kesiapan Industri 4.0 dan dapat menyusun rencana strategis (Batchkova, dkk., 2018; Tan, dkk., 2019; Hanafiah, dkk., 2018). Lebih lanjut, terdapat beberapa model alat penilaian (*assessment tools*) kesiapan Industri 4.0 yaitu *The Connected Enterprise Maturity Model*, *RB Industry 4.0 Readiness Index*, *IMPULS-Industry 4.0 Readiness*, *VDMA's IMPULS-Stiftung, Industry 4.0/Digital Operations Self Assessment*, *The Singapore Smart Industry Readiness Index*, dan *INDI 4.0 (Indonesia Industry 4.0 Readiness Index)* (Exner, dkk., 2017; Tan, dkk., 2019; Lichtblau, dkk., 2021).

Kota Surakarta merupakan salah satu kota dengan jumlah perusahaan manufaktur besar dan sedang lebih dari 126 perusahaan. Perusahaan-perusahaan di Kota Surakarta tersebut terdiri dari sektor yaitu sektor makanan, sektor pakaian jadi, sektor tekstil, sektor kimia, sektor percetakan, sektor furnitur, sektor karet plastik, dan sektor rokok. Sektor yang paling banyak yaitu sektor tekstil sebanyak 24 perusahaan dan sektor rokok sebanyak 5 perusahaan (BPS, 2019).

Berdasarkan model-model penilaian tersebut menghasilkan kerangka kerja yang akan digunakan dan dimodifikasikan dalam penelitian. Tujuan pada penelitian ini, modifikasi alat penilaian (*assessment tools*) kesiapan Industri 4.0 agar dapat sesuai dengan situasi dan kondisi perusahaan yang ada di Indonesia. Modifikasi dilakukan pada penyusunan indikator, penentuan bobot setiap indikator, penyusunan tata cara



Gambar 1. Alur Penelitian

Tabel 1. Indikator Penilaian Kesiapan Industri 4.0 pada Perusahaan Manufaktur (Kementerian Perindustrian Republik Indonesia, 2018)

No.	Kode	Keterangan
1.	A1	: Aspek Manajemen dan Organisasi
	I11	: Strategi dan Kepemimpinan
	I12	: Investasi menuju Industri 4.0
	I13	: Kebijakan Inovasi
2.	A2	: Aspek Orang dan Budaya
	I21	: Pengembangan Kompetensi
	I22	: Budaya
3.	A3	: Aspek Produk dan Layanan
	I31	: Pelayanan Berbasis Data
	I32	: Produk Cerdas
	I33	: Kustomisasi Produk
4.	A4	: Aspek Teknologi
	I41	: Keamanan <i>Cyber</i>
	I42	: Konektivitas
	I43	: Mesin/Sistem Cerdas
5.	A5	: Aspek Operasi Pabrik
	I51	: Penyimpanan dan Sharing Data
	I52	: Rantai Pasok dan Logistik Cerdas
	I53	: Proses yang Otonom
	I54	: Sistem Perawatan Cerdas

*A= Aspek; I= Indikator

penilaian, dan penentuan tingkat dalam nilai kesiapan perusahaan. Dalam rangka modifikasi tersebut, penelitian ini akan menggunakan metode Delphi untuk memvalidasi indikator penelitian dan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) untuk menentukan bobot kepentingan dari setiap indikator.

2. Metode Penelitian

Penelitian termasuk dalam penelitian deskriptif yang menggunakan dua pendekatan sekaligus yaitu kualitatif dan kuantitatif. Pendekatan kualitatif diaplikasikan dalam melakukan penarikan data dengan kuesioner untuk menentukan dan memvalidasi indikator. Pendekatan kuantitatif diaplikasikan saat menghitung data kuesioner bobot kepentingan indikator dan menghitung nilai tingkat kesiapan perusahaan. Penelitian ini terdiri dari dua tahap, tahap I adalah penentuan indikator dan tahap II adalah pelaksanaan penilaian. Alur penelitian ini dimulai dari studi literatur dan identifikasi masalah hingga didapatkan hasil seperti pada **Gambar 1**.

Tahap I penentuan indikator dilakukan dalam tiga tahap, yaitu: identifikasi indikator, validasi indikator, dan pembobotan indikator. **Identifikasi Indikator** adalah mengumpulkan beberapa indikator dari penelitian sebelumnya (Kementerian Perindustrian Republik Indonesia, 2018). Indikator yang digunakan dalam penelitian ini tercantum pada **Tabel 1. Validasi Indikator**, pada tahap ini indikator-indikator telah dikumpulkan menggunakan Metode Delphi. Pemilihan perusahaan manufaktur skala besar dan sedang sebagai objek penelitian ini didasarkan pada banyaknya jumlah tenaga kerja dan teknologi yang digunakan pada perusahaan. Responden memiliki kualifikasi yaitu menguasai sistem produksi pada perusahaan, mampu menjelaskan manajemen perusahaan, dan pengambil

keputusan dalam perusahaan. Responden Metode Delphi pada penelitian ini yaitu pimpinan perusahaan tekstil dan rokok sebanyak 4 orang yang terdiri dari *general manager*, manajer produksi, manajer personalia, dan kelapa bagian produksi. Metode Delphi salah satu metode yang memodifikasi teknik *brainwriting* dan survei (Ngamsomsuke, dkk., 2011; Oyola, dkk., 2012; Oyola, dkk., 2019; Purwanggono, dkk., 2022a; Purwanggono, dkk., 2022b) yang dapat menampung pendapat ahli. Metode ini, menggunakan bantuan kuesioner untuk memperoleh pendapat para ahli. Tujuan dari metode ini untuk mendapatkan konsensus paling banyak dari para ahli.

Pembobotan Indikator, pembobotan pada indikator yang sudah divalidkan menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) (Saaty, 2008; Purwanggono, dkk., 2022a; Purwanggono, dkk., 2022b), dengan rumus sebagai berikut:

Perhitungan nilai Indikator

$$SV = \text{Penilaian Indikator} \times \text{Bobot Indikator} \quad (1)$$

Perhitungan nilai aspek

$$V_1 = SV_1 + SV_2 + SV_3 \quad (2)$$

Perhitungan nilai kesiapan

$$IC = \sum_{i=0}^n V_{j+1} = V_1 + V_2 + \dots + V_6 \quad (3)$$

Tahap II pelaksanaan penilaian dilakukan dalam dua tahap, yaitu: penilaian dan rekomendasi. Implementasi alat penilaian ini dilakukan pada perusahaan manufaktur di sektor yang mayoritas Kota Surakarta sebanyak 2 perusahaan. Perusahaan manufaktur yang menjadi responden pada penelitian ini yaitu perusahaan sektor tekstil dan perusahaan sektor rokok. Responden dari setiap perusahaan yang dipilih

Tabel 2. Kriteria Tingkat Kesiapan Industri 4.0 pada Perusahaan Manufaktur (Kementerian Perindustrian Republik Indonesia, 2018)

No	Level	Nilai	Kriteria Kesiapan
1	0	0-0,50	Perusahaan BELUM siap menerapkan Industri 4.0
2	1	0,51-1,50	Perusahaan berada dalam tahap AWAL penerapan Industri 4.0
3	2	1,51-2,50	Perusahaan berada dalam tahap SEDANG menerapkan Industri 4.0
4	3	2,51-3,50	Perusahaan berada dalam tahap MATANG menerapkan Industri 4.0
5	4	3,51-4,00	Perusahaan SUDAH menerapkan Industri 4.0

Tabel 3. Indikator Tingkat Kesiapanan Industri 4.0 pada Perusahaan Manufaktur (Hasil Olah Data, 2022)

No.	Kode	Keterangan
1.	A1	: Aspek Manajemen dan Organisasi
	I11	: Strategi dan Kepemimpinan
	I12	: Investasi menuju Industri 4.0
	I13	: Kebijakan Inovasi
2.	A2	: Aspek Orang dan Budaya
	I21	: Pengembangan Kompetensi
	I22	: Budaya
	I23	: Keterbukaan terhadap Perubahan
	I24	: Sosial Teknologi*
3.	A3	: Aspek Produk dan Layanan
	I31	: Pelayanan Berbasis Data
	I32	: Produk Cerdas
4.	A4	: Aspek Teknologi
	I41	: Keamanan Cyber
	I42	: Konektivitas
	I43	: Mesin / sistem cerdas
5.	A5	: Aspek Operasi Pabrik
	I51	: Penyimpanan dan Sharing Data
	I52	: Rantai Pasok dan Logistik Cerdas
	I53	: Proses yang Otonom
	I54	: Sistem Perawatan Cerdas

*) Indikator baru

telah memiliki kriteria memahami terkait sistem produksi yang ada dalam perusahaan, mengetahui secara keseluruhan perancangan produksi, dan memiliki wewenang penuh dalam melakukan inovasi dalam perusahaan. Nilai yang sudah didapatkan berdasarkan perhitungan tahap II dan menentukan tingkat kesiapan Industri 4.0 dengan cara melihat **Tabel 2**. Kemudian, melakukan penyusunan rekomendasi sebagai langkah preventif perusahaan menghadapi perkembangan Industri 4.0.

3. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan metode Delphi yang digunakan untuk memvalidasi indikator yang akan digunakan dari sebanyak 17 indikator dinyatakan valid. Pada metode Delphi ini juga dihasilkan satu aspek baru yaitu Aspek Pengetahuan yang terdiri dari 2 indikator baru yaitu Indikator Sosial Teknologi berkaitan dengan pelaksanaan sosialisasi pada perusahaan terkait Industri 4.0 dan Indikator Penelitian dan Pendanaan berkaitan dengan pelaksanaan penelitian dan pengembangan manajemen di perusahaan. Berdasarkan 2 indikator tersebut maka dilakukan metode Delphi putaran kedua, yang mana menghasilkan 19 indikator dari 6 aspek yang valid dan dapat digunakan untuk menghitung

bobot indikator. **Tabel 3**. merupakan indikator bagi kesiapan Industri 4.0.

Indikator yang valid pada metode Delphi kemudian dihitung bobot dengan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP). Indikator dinyatakan konsisten ($CR \leq 0,1$) dan dapat digunakan untuk perhitungan kesiapan Industri 4.0 dari perusahaan manufaktur. **Tabel 4**. merupakan bobot untuk setiap indikator dan aspek pada kesiapan Industri 4.0.

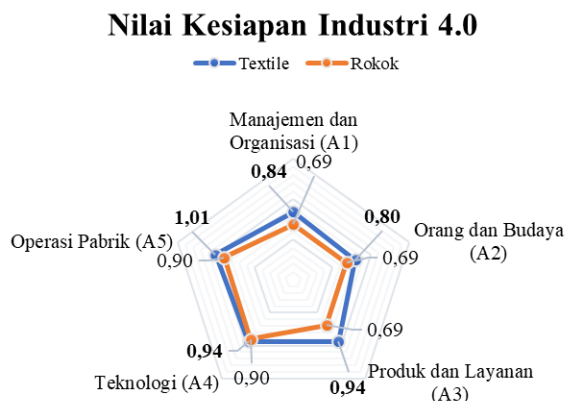
Hasil nilai kesiapan Industri 4.0 dari perusahaan manufaktur di kota Surakarta diperoleh dari perhitungan persamaan (3) yaitu mengalikan nilai indikator dengan bobot indikator kemudian menjumlahkan menjadi satu. Berdasarkan penilaian secara keseluruhan pada perusahaan sektor tekstil memiliki nilai kesiapan Industri 4.0 sebesar 0,94 dan perusahaan sektor rokok sebesar 0,82, dimana kedua sektor perusahaan masuk pada kriteria level 1 yaitu tahap AWAL penerapan Industri 4.0.

Nilai kesiapan Industri 4.0 berdasarkan 5 aspek yang diteliti dapat dilihat pada **Gambar 2**. Pada perusahaan sektor tekstil diketahui nilai aspek yang paling tinggi ke paling rendah. Aspek Operasi Pabrik (A5) sebesar 1,01, hal ini dipengaruhi oleh perusahaan sudah mengimplementasikan teknologi dalam

menyimpan, mentransfer, dan mengolah data maupun pada logistik dan rantai pasok. Aspek Teknologi (A4) sebesar 0,94, hal ini dipengaruhi oleh perusahaan sudah mulai beralih dan terdapat rencana masa depan untuk mengkoneksikan maupun mengganti mesin manual dengan mesin otomatis. Aspek Produk dan Layanan (A3) sebesar 0,94, hal ini dipengaruhi oleh perusahaan memiliki rencana jangka panjang untuk mengembangkan pelayanan sesuai data konsumen dan mengkolaborasikan produk sesuai kebutuhan pelanggan. Aspek Manajemen dan Organisasi (A1) sebesar 0,84, hal ini dipengaruhi oleh terdapatnya dukungan, investasi, dan keinginan dari pimpinan perusahaan untuk mentransformasikan menjadi

perusahaan berbasis Industri 4.0. Aspek Orang dan Budaya (A2) sebesar 0,80, dipengaruhi oleh kebijakan dan pelaksanaan pengembangan kompetensi bagi para pekerja.

Pada perusahaan sektor rokok diketahui nilai aspek yang paling tinggi ke paling rendah. Aspek Operasi Pabrik (A5) sebesar 0,90, hal ini dipengaruhi oleh perusahaan berencana mengimplementasikan teknologi pada logistik dan rantai pasok. Aspek Teknologi (A4) sebesar 0,90, hal ini dipengaruhi oleh perusahaan berencana mengkoneksikan maupun mengganti mesin manual dengan mesin otomatis. Aspek Produk dan Layanan (A3) sebesar 0,69, hal ini dipengaruhi oleh perusahaan belum memiliki rencana



Gambar 2. Nilai setiap Aspek Kesiapanan Industri 4.0 pada Perusahaan Manufaktur (Hasil olah data, 2022)

Tabel 4. Bobot dan Nilai Aspek dan Indikator Tingkat Kesiapanan Industri 4.0 pada Perusahaan Manufaktur (Hasil olah data, 2022)

No.	Kode	Bobot	Nilai Tekstil	Nilai Rokok	Rekomendasi
1.	A1	0,21	0,84	0,69	Pimpinan perusahaan sebaiknya mendukung transformasi Industri 4.0 pada perusahaan baik dalam bentuk pendanaan maupun pemahaman pengetahuan, seperti mengganti mesin menjadi otomatis (Nicolitte, 2018) dan <i>workshop</i> pemahaman Industri 4.0 pada seluruh level perusahaan (Sen, dkk., 2019).
	I11	0,14	1,00	0,69	
	I12	0,52	0,69	0,69	
	I13	0,33	1,00	0,69	
2.	A2	0,08	0,84	0,69	Sosialisasi terkait perubahan Industri 4.0 pada perusahaan, perusahaan membentuk divisi penelitian yang bekerja sama dengan perguruan tinggi bertujuan mengembangkan pengetahuan (Sen, dkk., 2019).
	I21	0,15	0,69	0,69	
	I22	0,21	1,00	0,69	
	I23	0,15	1,00	0,69	
	I24	0,30	0,69	0,69	
3.	A3	0,12	0,80	0,69	Perusahaan sebaiknya dapat mengembangkan dan mengkolaborasikan produk berdasarkan perkembangan teknologi dengan masih memegang teguh warisan terdahulu. Seperti penambahan stiker atau kode pada kemasan produk tanpa mengubah originalitas produk (Hasil diskusi).
	I31	0,14	0,56	0,69	
	I32	0,34	1,00	0,69	
	I33	0,52	1,00	0,69	
4.	A4	0,20	0,94	0,90	Perusahaan sebaiknya mulai mengkoneksikan sistem informasi dengan proses produksi dengan tetap memperhitungkan dan mempertimbangkan keamanan maupun biaya produksi. seperti aplikasi dengan mesin yang digunakan (Gokalp, 2017; Li, dkk., 2019).
	I41	0,73	0,78	0,69	
	I42	0,11	0,78	0,69	
	I43	0,16	0,78	0,69	
	I44	0,29	0,56	0,69	
5.	A5	0,40	1,01	0,90	Perusahaan sebaiknya mengimplementasikan teknologi dalam menyimpan, mentransfer, dan mengolah data maupun pada logistik dan rantai pasok. Seperti penggunaan aplikasi digital untuk integrasi inventori dengan mesin (Zhou, 2016).
	I51	0,57	0,78	0,69	
	I52	0,13	0,69	0,69	
	I53	0,22	1,00	0,69	
	I54	0,37	0,69	0,69	

*A= Aspek; I= Indikator; *bold*= Nilai Indikator Terendah

maupun keinginan untuk mengembangkan dan mengkolaborasi produk sesuai keinginan pelanggan atau dapat dikatakan perusahaan masih memegang teguh warisan terdahulu. Aspek Manajemen dan Organisasi (A1) sebesar 0,69, hal ini dipengaruhi oleh terdapatnya rencana perusahaan untuk mendukung, investasi, dan keinginan dari pimpinan perusahaan untuk mentransformasikan menjadi perusahaan berbasis Industri 4.0. Aspek Orang dan Budaya (A2) sebesar 0,69, dipengaruhi oleh masih kurangnya kesadaran karyawan akan SOP bekerja dan perlunya kebijakan dan pelaksanaan pengembangan kompetensi bagi para pekerja.

Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan nilai dari setiap indikator kesiapan Industri 4.0 seperti pada **Tabel 4**. Kemudian dapat disusun rekomendasi berdasarkan indikator-indikator yang memiliki nilai rendah. Penyusunan rekomendasi untuk indikator-indikator tersebut dapat dilihat pada **Tabel 4**.

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian didapatkan 2 indikator baru untuk menilai kesiapan Industri 4.0 yang sudah tervalidasi yaitu Indikator Sosial Teknologi dan Indikator Penelitian dan Pendanaan yang masuk pada Aspek Organisasi dan Budaya. Indikator tersebut digunakan dalam implementasi penilaian kesiapan Industri 4.0 di perusahaan sektor tekstil dan perusahaan sektor rokok di Kota Surakarta. Hasil perhitungan kesiapan menunjukkan nilai Aspek Organisasi dan Budaya yang paling rendah yaitu perusahaan sektor tekstil sebesar 0,80 dan perusahaan sektor rokok sebesar 0,69, hal ini dipengaruhi oleh masih kurangnya pelatihan maupun kesadaran terhadap perubahan industri terutama Industri 4.0. Penilaian secara keseluruhan pada perusahaan sektor tekstil memiliki nilai kesiapan Industri 4.0 sebesar 0,94 dan perusahaan sektor rokok sebesar 0,82, dimana kedua sektor perusahaan masuk pada kriteria level 1 yaitu tahap AWAL penerapan Industri 4.0. Pada penelitian ini memiliki keterbatasan yaitu metode dan alat ukur yang dikembangkan masih terbatas dan membutuhkan pengujian lebih lanjut dengan mengimplementasikan alat ukur tersebut untuk mengukur perusahaan-perusahaan yang lebih luas cakupannya di Indonesia dan dari berbagai sektor perusahaan.

5. Ucapan Terima Kasih

Terima kasih disampaikan kepada LPPM Universitas Duta bangsa Surakarta, Fakultas Sains dan Teknologi, dan Program Studi Teknik Industri yang telah membantu terlaksananya penelitian. Penelitian ini didukung finansial secara langsung oleh Penelitian Internal Universitas Duta Bangsa Surakarta Tahun 2022.

6. Daftar Pustaka

Badan Pusat Statistik BPS. (2019). <https://surakartakota.bps.go.id/statictable/2019/11/25/104/banyaknya-perusahaan-industri-pengolahan-besar-sedang-dan-tenaga-kerja-menurut-kelompok-industri-di-kota-surakarta-tahun-2018.html>.

- Basl, J. (2017). Pilot Study of Readiness of Czech Companies to Implement the Principles of Industry 4.0. *Management and Production Engineering Review*, 8(2), 3-8.
- Basl, J. (2018). Analysis of Industry 4.0 Readiness Indexes and Maturity Models and Proposal of The Dimension for Enterprise Information Systems. In *Research and Practical Issues of Enterprise Information Systems: 12th IFIP WG 8.9 Working Conference, CONFENIS 2018, Held at the 24th IFIP World Computer Congress, WCC 2018, Poznan, Poland, September 18–19, 2018, Proceedings 12* (pp. 57-68). Springer International Publishing.
- Batchkova, I. A., Popov, G.T., Inanova, Ts.A., & Belev, Y.A. (2018). Assessment of Readiness for Industry 4.0. *International Scientific Journal Industry 4.0*, 3(6), 288-291.
- Berger, R.. (2014). Industry 4.0 The new industrial revolution: How Europe will succeed, Think Act Industry 4.0.
- Botha, A.P. (2018). Rapidly Arriving Futures: Future Readiness for Industry 4.0. *S. Afr. J. Ind. Eng.* 29, 148–160.
- Exner, K., Zimpfer, R., dan Stark, R. (2017) Maturity model and action recommendation: a PSS capability self-assessment tool for companies. TU Berlin.
- Gokalp, E., Sener, U., & Eren, E. (2017). Development of an Assessment Model for Industry 4.0: Industry 4.0-MM”, *Middle East Technical University, Ankara, TurkeyThe 9th CIRP IPSS Conference: Circular Perspectives on Product/Services-Systems, Elsevier*.
- Grufman, N., & Lyons, S. (2020). Exploring Industry 4.0 A readiness assessment for SMEs. Stockholm University.
- Hanafiah, M. H., Soomro, M. A., & Abdullah, N. L. (2020). Industry 4.0 Readiness Models: A systematic literature review of model dimensions. *information MDPI*, 11(364), 1-13.
- Kementerian Perindustrian Republik Indonesia. (2018). *Indonesia Industry 4.0 Readiness Index (Indeks Kesiapan Industri di Indonesia untuk Bertransformasi Menuju Industri 4.0)*. Kementerian Perindustrian Republik Indonesia, Indonesia.
- 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.
- Lichtblau, K., Stich, V., Bertenrath, R., Blum, M., Bleider, M., Mallack, A., Schmitt, K., Schmitz, E., & Schroter, M. (2015). Impuls Industrie 4.0 Readiness, Impuls-Stiftung des VDMA.
- Mahfudz, M. S., & Dharma, I. G. B. B. (2021). Analisis Model Pengukuran Readiness *Industry 4.0* pada Industri Manufaktur. *Seminar Nasional Teknik Industri Universitas Gadjah Mada*. ISBN 978-623-92050-3-4, 69-73.
- Muller, J. M., Kiel, D., & Voigt, K. (2018). What Drive the Implementation of Industry 4.0? The Role of

- Opportunity and Challenges in the Context of Sustainability. *Journal of Sustainability*, 2018.
- Ngamsomsuke, W., Hwang, T.C., & Huang, C.J. (2011). Sustainable culture heritage tourism indicators. *International Conference on Social Science and Humanity*, 5, 516-519.
- Nicoletti, B. (2018). The future: procurement 4.0. In: *Agile Procurement*. Cham: Palgrave Macmillan, 189-230.
- Oyola, M.L., Blancas, F.J., Gonzalez, M., & Caballero, R. (2012). Sustainable tourism indicators as planning tools in cultural destinations. *Ecological Indicators*, 18, 659-675.
- Oyola, M.L., Contreras, I., & Blancas, F.J. (2019). An operational non-compensatory composite indicator: measuring sustainable tourism in Andalusian urban destinations. *Ecological Economic*, 159, 1-10.
- Purwanggono, B., Purwaningsih, R., Bachtiar, A., Agusti, F., & Dharaka, K. P. (2022a). Assessment Tingkat Keinovatifan Perusahaan Manufaktur Dengan Studi Kasus PT. Volta Indonesia Semesta. *J@ti Undip: Jurnal Teknik Industri*, 17(2). 128-133.
- Purwanggono, B., Purwaningsih, R., Bachtiar, A., Agusti, F., and Dharaka, K. (2022b). Manufacturing Company Innovative Level Assessment Case Study of Volta Indonesia Semesta Incorporated. *International Conference on Informatics, Multimedia, Cyber and Information System (ICIMCIS)*. 249-253, doi: 10.1109/ICIMCIS56303.2022.10017989.
- Schuh, G., Potente, T., Varandani, R., & Schmitz, T. (2014). Global Footprint Design Based on Genetic Algorithms – An Industry 4.0 Perspective. *CIRP Annals - Manuf. Technology*, 63(1), 433–436.
- Schumacher, A., Erol, S., & Sihn, W. (2016). A Maturity Model for Assessing Industry 4.0 Readiness and Maturity of Manufacturing Enterprises. *Procedia CIRP*, 52, 161-166.
- Sen, T.H., Andhika, A., Ariyanti, F.D., Soebandrija, K.E.N. (2019). Pengembangan Model Pengukuran Kesiapan Industri 4.0 untuk Perusahaan Manufaktur di Indonesia. *Jurnal Penelitian dan Aplikasi Sistem & Teknik Industri (PASTI)*, 13(2), 106-120
- Shinohara, A. (2017). Critical Success Factors for Digital Manufacturing Implementation in the Context of Industry 4.0, *Proceedings of the Industrial and Systems Engineering Conference*.
- Tan, H. S. R., Soebandrija, K. E. N., & Ariyanti, D. (2019). Pengembangan Model Pengukuran Kesiapan Industri 4.0 Untuk Manufaktur di Indonesia. *Jurnal Penelitian dan Aplikasi Sistem & Teknik Industri (PASTI)*, 13(2), 106-120.
- Timur, A., & Ngakan. (2019). *Indonesia Industry 4.0 Readiness Index (INDI 4.0)*. Tangerang Selatan: Kementerian Perindustrian.
- Utomo, Satrio, & Setiastuti, N. (2019). Industri 4.0 : Pengukuran Tingkat Kesiapan Industri Tekstil Dengan Metode Singapore Smart Industry Readiness Index. *Jurnal Nasional Informatika dan Teknologi Jaringan*, 3(2).
- 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.