

INDUSTRI 4.0: TELAAH KLASIFIKASI ASPEK DAN ARAH PERKEMBANGAN RISET

Hoedi Prasetyo^{1*)}, Wahyudi Sutopo²

¹*Program Studi Teknik Mekatronika, Politeknik ATMI Surakarta, Jl. Adisucipto/ Jl. Mojo No.1, Surakarta*

²*Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Surakarta*

(Received: September 19, 2017/ Accepted: January 25, 2018)

Abstrak

Istilah Industri 4.0 lahir dari ide tentang revolusi industri keempat. Keberadaannya menawarkan banyak potensi manfaat. Guna mewujudkan Industri 4.0, diperlukan keterlibatan akademisi dalam bentuk riset. Artikel ini bertujuan untuk menelaah aspek dan arah perkembangan riset terkait Industri 4.0. Pendekatan yang digunakan adalah studi terhadap beragam definisi dan model kerangka Industri 4.0 serta pemetaan dan analisis terhadap sejumlah publikasi. Beberapa publikasi bertema Industri 4.0 dipilah menurut metode penelitian, aspek kajian dan bidang industri. Hasil studi menunjukkan Industri 4.0 memiliki empat belas aspek. Ditinjau dari metode penelitian, sebagian besar riset dilakukan melalui metode deskriptif dan konseptual. Ditinjau dari aspeknya, aspek bisnis dan teknologi menjadi fokus riset para peneliti. Ditinjau dari bidang industri penerapannya, sebagian besar riset dilakukan di bidang manufaktur. Ditinjau dari jumlahnya, riset terkait Industri 4.0 mengalami tren kenaikan yang signifikan. Artikel ini diharapkan dapat memberi gambaran mengenai apa itu Industri 4.0, perkembangan dan potensi riset yang ada di dalamnya.

Kata kunci: Industri 4.0; Telaah Literatur; Tren Riset

Abstract

Industry 4.0: Study of Aspects Classification and Future Research Direction. The term Industrial 4.0 refers to the idea about fourth industrial revolution. In order to realize Industry 4.0, academic involvement is required in the form of research. This article aims to define the aspects and future direction of research related to Industry 4.0. Literature review of various definition and concept models of Industry 4.0. was conducted to acquire the aspects. Mapping and analysis of several publications were conducted to determine the future direction of research. Publications were sorted according to research methods, aspects and type of industry. The result shows that Industry 4.0 has fourteen aspects. Based on research methods, most of the research is done through descriptive and conceptual methods. Business and technology aspects become the focus of the researchers and most of the research is done in manufacturing industry. Based on quantities, Industrial 4.0 research has experienced a significant upward trend. This article is expected to illustrate the concept, future development and research trend of Industry 4.0.

Keywords: Industry 4.0; Literature Review; Research Trend

1. PENDAHULUAN

Istilah Industri 4.0 lahir dari ide revolusi industri keempat. *European Parliamentary Research Service* dalam Davies (2015) menyampaikan bahwa revolusi industri terjadi empat kali. Revolusi industri pertama terjadi di Inggris pada tahun 1784 di mana penemuan mesin uap dan mekanisasi mulai menggantikan pekerja-

an manusia. Revolusi yang kedua terjadi pada akhir abad ke-19 di mana mesin-mesin produksi yang ditenagai oleh listrik digunakan untuk kegiatan produksi secara masal. Penggunaan teknologi komputer untuk otomasi manufaktur mulai tahun 1970 menjadi tanda revolusi industri ketiga. Saat ini, perkembangan yang pesat dari teknologi sensor, interkoneksi, dan analisis data memunculkan gagasan untuk mengintegrasikan seluruh teknologi tersebut ke dalam berbagai bidang industri. Gagasan inilah yang diprediksi akan menjadi revolusi

*) Penulis Korespondensi.
e-mail: hoedi@student.uns.ac.id

industri yang berikutnya. Angka empat pada istilah Industri 4.0 merujuk pada revolusi yang ke empat. Industri 4.0 merupakan fenomena yang unik jika dibandingkan dengan tiga revolusi industri yang mendahuluinya. Industri 4.0 diumumkan secara apriori karena peristiwa nyatanya belum terjadi dan masih dalam bentuk gagasan (Drath dan Horch, 2014).

Istilah Industri 4.0 sendiri secara resmi lahir di Jerman tepatnya saat diadakan Hannover Fair pada tahun 2011 (Kagermann dkk, 2011). Negara Jerman memiliki kepentingan yang besar terkait hal ini karena Industri 4.0 menjadi bagian dari kebijakan rencana pembangunannya yang disebut *High-Tech Strategy 2020*. Kebijakan tersebut bertujuan untuk mempertahankan Jerman agar selalu menjadi yang terdepan dalam dunia manufaktur (Heng, 2013). Beberapa negara lain juga turut serta dalam mewujudkan konsep Industri 4.0 namun menggunakan istilah yang berbeda seperti *Smart Factories*, *Industrial Internet of Things*, *Smart Industry*, atau *Advanced Manufacturing*. Meski memiliki penyebutan istilah yang berbeda, semuanya memiliki tujuan yang sama yaitu untuk meningkatkan daya saing industri tiap negara dalam menghadapi pasar global yang sangat dinamis. Kondisi tersebut diakibatkan oleh pesatnya perkembangan pemanfaatan teknologi digital di berbagai bidang.

Industri 4.0 diprediksi memiliki potensi manfaat yang besar. Tabel 1 menunjukkan potensi manfaat Industri 4.0 menurut beberapa artikel.

Sebagian besar pendapat mengenai potensi manfaat Industri 4.0 adalah mengenai perbaikan kecepatan-fleksibilitas produksi, peningkatan layanan kepada pelanggan dan peningkatan pendapatan. Terwujudnya potensi manfaat tersebut akan memberi dampak positif terhadap perekonomian suatu negara.

Industri 4.0 memang menawarkan banyak manfaat, namun juga memiliki tantangan yang harus dihadapi. Drath dan Horch (2014) berpendapat bahwa tantangan yang dihadapi oleh suatu negara ketika menerapkan Industri 4.0 adalah munculnya resistansi terhadap perubahan demografi dan aspek sosial, ketidakstabilan

kondisi politik, keterbatasan sumber daya, risiko bencana alam dan tuntutan penerapan teknologi yang ramah lingkungan. Menurut Jian Qin dkk (2016), terdapat kesenjangan yang cukup lebar dari sisi teknologi antara kondisi dunia industri saat ini dengan kondisi yang diharapkan dari Industri 4.0. Penelitian yang dilakukan oleh Balasingham (2016) juga menunjukkan adanya faktor keengganan perusahaan dalam menerapkan Industri 4.0 karena khawatir terhadap ketidakpastian manfaatnya.

Berdasar beberapa penjelasan tersebut maka sesuai dengan yang disampaikan oleh Zhou dkk (2015), secara umum ada lima tantangan besar yang akan dihadapi yaitu aspek pengetahuan, teknologi, ekonomi, social, dan politik. Guna menjawab tantangan tersebut, diperlukan usaha yang besar, terencana dan strategis baik dari sisi regulator (pemerintah), kalangan akademisi maupun praktisi. Kagermann dkk (2013) menyampaikan diperlukan keterlibatan akademisi dalam bentuk penelitian dan pengembangan untuk mewujudkan Industri 4.0. Menurut Jian Qin dkk (2016) *roadmap* pengembangan teknologi untuk mewujudkan Industri 4.0 masih belum terarah. Hal ini terjadi karena Industri 4.0 masih berupa gagasan yang wujud nyata dari keseluruhan aspeknya belum jelas sehingga dapat memunculkan berbagai kemungkinan arah pengembangan.

Artikel ini bertujuan untuk menelaah aspek dan arah perkembangan riset terkait Industri 4.0. Pendekatan yang digunakan adalah studi terhadap beragam definisi dan model kerangka Industri 4.0 serta melalui pemetaan dan analisis terhadap sejumlah publikasi. Isi artikel ini meliputi kajian terhadap definisi dan model kerangka Industri 4.0 guna menemukan aspek apa saja yang ada di dalam konsep Industri 4.0. Berikutnya adalah penjelasan mengenai metode untuk menelusuri arah perkembangan riset Industri 4.0, dilanjutkan dengan pembahasan hasil dan kesimpulan. Artikel ini diharapkan dapat memberi gambaran mengenai apa itu Industri 4.0, perkembangan dan potensi riset yang ada di dalamnya.

Tabel 1. Potensi Manfaat Industri 4.0

Penulis	Potensi Manfaat
Lasi dkk (2014)	Pengembangan produk menjadi lebih cepat, mewujudkan permintaan yang bersifat individual (kustomisasi produk), produksi yang bersifat fleksibel dan cepat dalam menanggapi masalah serta efisiensi sumber daya.
Rüßmann dkk (2015)	Perbaikan produktivitas, mendorong pertumbuhan pendapatan, peningkatan kebutuhan tenaga kerja terampil, peningkatan investasi.
Schmidt dkk (2015)	Terwujudnya kustomisasi masal dari produk, pemanfaatan data <i>idle</i> dan perbaikan waktu produksi.
Kagermann dkk (2013)	Mampu memenuhi kebutuhan pelanggan secara individu, proses rekayasa dan bisnis menjadi dinamis, pengambilan keputusan menjadi lebih optimal, melahirkan model bisnis baru dan cara baru dalam mengkreasi nilai tambah.
Neugebauer dkk (2016)	Mewujudkan proses manufaktur yang efisien, cerdas dan <i>on-demand</i> (dapat dikostumisasi) dengan biaya yang layak.

Definisi Industri 4.0

Definisi mengenai Industri 4.0 beragam karena masih dalam tahap penelitian dan pengembangan. Kanselir Jerman, Angela Merkel (2014) berpendapat bahwa Industri 4.0 adalah transformasi komprehensif dari keseluruhan aspek produksi di industri melalui penggabungan teknologi digital dan internet dengan industri konvensional. Schlechtendahl dkk (2015) menekankan definisi kepada unsur kecepatan dari ketersediaan informasi, yaitu sebuah lingkungan industri di mana seluruh entitasnya selalu terhubung dan mampu berbagi informasi satu dengan yang lain.

Pengertian yang lebih teknis disampaikan oleh Kagermann dkk (2013) bahwa Industri 4.0 adalah integrasi dari *Cyber Physical System* (CPS) dan *Internet of Things and Services* (IoT dan IoS) ke dalam proses industri meliputi manufaktur dan logistik serta proses lainnya. CPS adalah teknologi untuk menggabungkan antara dunia nyata dengan dunia maya. Penggabungan ini dapat terwujud melalui integrasi antara proses fisik dan komputasi (teknologi *embedded computers* dan jaringan) secara *close loop* (Lee, 2008). Hermann dkk (2015) menambahkan bahwa Industri 4.0 adalah istilah untuk menyebut sekumpulan teknologi dan organisasi rantai nilai berupa *smart factory*, CPS, IoT dan IoS. *Smart factory* adalah pabrik modular dengan teknologi CPS yang memonitor proses fisik produksi kemudian menampilkannya secara virtual dan melakukan desentralisasi pengambilan keputusan. Melalui IoT, CPS mampu saling berkomunikasi dan bekerja sama secara real time termasuk dengan manusia. IoS adalah semua aplikasi layanan yang dapat dimanfaatkan oleh setiap pemangku kepentingan baik secara internal maupun antar organisasi. Terdapat enam prinsip desain Industri 4.0 yaitu *interoperability*, virtualisasi, desentralisasi, kemampuan *real time*, berorientasi layanan dan bersifat modular. Berdasar beberapa penjelasan di atas, Industri 4.0 dapat diartikan sebagai era industri di mana seluruh entitas yang ada di dalamnya dapat saling berkomunikasi secara *real time* kapan saja dengan berlandaskan pemanfaatan teknologi internet dan CPS guna mencapai tujuan tercapainya kreasi nilai baru

ataupun optimasi nilai yang sudah ada dari setiap proses di industri.

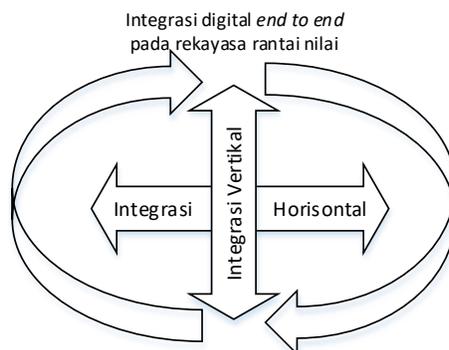
Model Kerangka Industri 4.0

Usaha untuk menemukan aspek apa saja yang ada di dalam Industri 4.0 tidak cukup dengan hanya melalui pemahaman definisinya. Perlu pemahaman yang lebih komprehensif tentang Industri 4.0 melalui model kerangka konsepnya. Beberapa penelitian telah dilakukan untuk menyusun model kerangka Industri 4.0.

Kagermann dkk (2013) di dalam laporan final kelompok kerja Industri 4.0 yang disponsori oleh kementerian pendidikan dan riset Jerman memberikan rekomendasi model kerangka Industri 4.0. Model yang direkomendasikan merupakan perwujudan dari integrasi tiga aspek seperti yang ditunjukkan pada gambar 1.

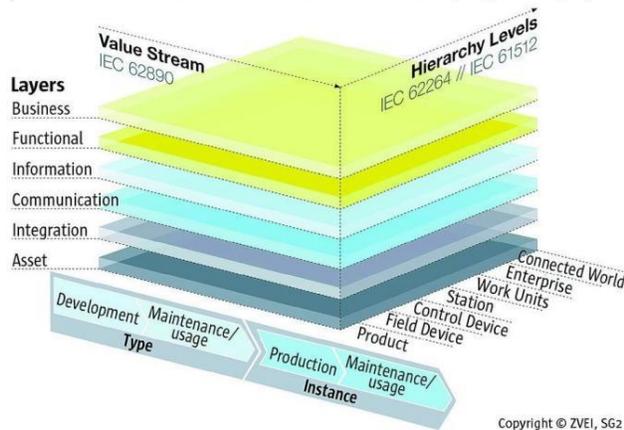
Aspek pertama adalah integrasi horisontal yang berarti mengintegrasikan teknologi CPS ke dalam strategi bisnis dan jaringan kerjasama perusahaan meliputi rekanan, penyedia, pelanggan, dan pihak lainnya. Sedangkan integrasi vertikal menyangkut bagaimana menerapkan teknologi CPS ke dalam sistem manufaktur/ produksi yang ada di perusahaan sehingga dapat bersifat fleksibel dan modular. Aspek yang ketiga meliputi penerapan teknologi CPS ke dalam rantai rekayasa nilai secara *end to end*. Rantai rekayasa nilai menyangkut proses penambahan nilai dari produk mulai dari proses desain, perencanaan produksi, manufaktur hingga layanan kepada pengguna produk. Integrasi aspek-aspek tersebut memerlukan delapan aksi. Aksi tersebut adalah (1) standarisasi, (2) pemodelan sistem kompleks, (3) penyediaan infrastruktur jaringan komunikasi, (4) penjaminan keselamatan dan keamanan, (5) desain organisasi dan kerja, (6) pelatihan sumber daya manusia, (7) kepastian kerangka hukum dan (8) efisiensi sumber daya.

BITKOM, VDMA dan ZVEI (VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik, 2015) mengembangkan model lain yang disebut RAMI 4.0 (*Reference Architecture Model Industry 4.0*). Model ini berbentuk kubus seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2**.



Gambar 1. Tiga Aspek Integrasi Industri 4.0 (Kagermann dkk, 2013)

Reference Architectural Model Industrie 4.0 (RAMI 4.0)

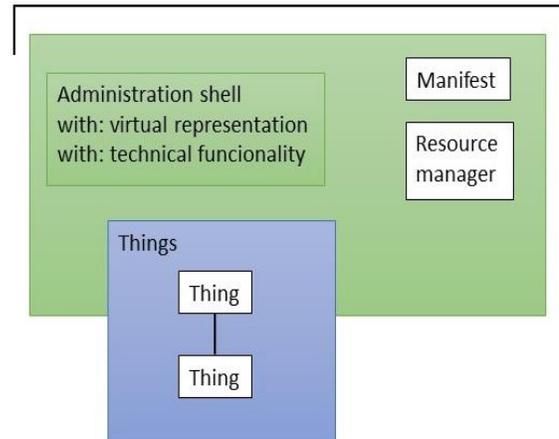


Gambar 2. RAMI 4.0 (VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik, 2015)

Sumbu vertikal RAMI 4.0 terdiri dari enam lapisan yang menunjukkan sudut pandang berbagai aspek industri terhadap Industri 4.0. Sudut pandang tersebut meliputi aspek pasar/ bisnis, fungsi, informasi, komunikasi dan sudut pandang mengenai kemampuan integrasi dari komponen (aset perusahaan). Sumbu horisontal sebelah kiri menunjukkan aliran siklus hidup produk atau arus nilai tambah dalam proses produksi di industri yang diiringi dengan penerapan digitalisasi. Sumbu horisontal sebelah kanan menjelaskan mengenai hierarki kendali sistem produksi mulai dari produk, peralatan di lantai produksi sampai ke tingkat perusahaan dan dunia luar. Menurut Zezulka dkk (2016), model ini kurang mendukung solusi teknis yang diperlukan untuk mewujudkan perangkat keras maupun perangkat lunak penerapan Industri 4.0.

BITKOM, VDMA dan ZVEI kembali merekomendasikan model lain yang disebut *Industry 4.0 Component Model* (VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik, 2015). Model ini menjelaskan lebih baik mengenai solusi teknis penerapan Industri 4.0 melalui peran teknologi CPS. Model ini berfokus pada fitur komunikasi antara sistem virtual dengan sistem nyatanya. Perwujudan model ini berupa penyematan wadah elektronik/ *Administration shell* yang menampung semua data selama siklus hidup tiap komponen sistem produksi. Data yang ditampung dapat diakses oleh seluruh entitas dari rantai produksi. Gambaran model ini ditunjukkan oleh gambar 3.

I4.0 component

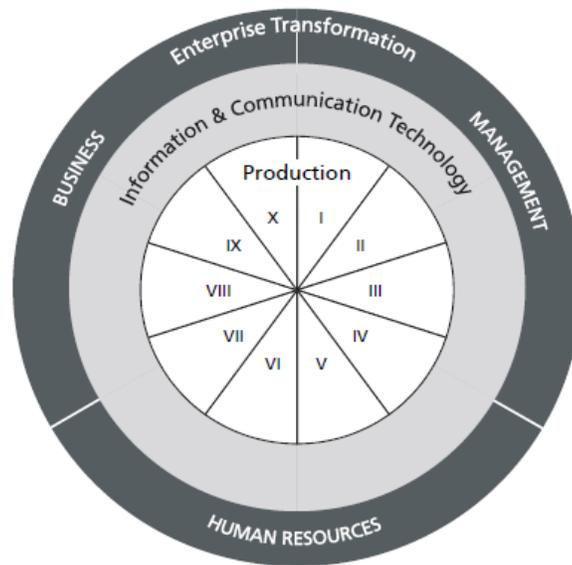


Gambar 3. *Industry 4.0 Component Model* (VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik, 2015)

Fraunhofer, sebuah organisasi riset dan teknologi di Eropa merekomendasikan model lain yang disebut *Fraunhofer Industrie 4.0 layer model* (Neugebauer dkk, 2016). Model ini diklaim lebih komprehensif karena memasukkan lebih banyak unsur *tangible*. Model ini disusun dari hasil ekstraksi dokumen berbagai penelitian dan hasil wawancara terhadap para ahli. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 4, model ini tersusun atas tiga lapisan utama. Lapisan inti terkait produksi. Lapisan ini terbagi menjadi sepuluh bagian teknologi inti yaitu:

- a. *engineering*
- b. *manufacturing technologies and organization*
- c. *machines*
- d. *smart capabilities*
- e. *robotics and human-robot collaboration*
- f. *production planning control*
- g. *logistics*
- h. *work organization*
- i. *workplace design and assistance*
- j. *resource and energy efficiency.*

Lapisan berikutnya adalah aspek teknologi informasi dan komunikasi yang memungkinkan realisasi konsep Industri 4.0. Lapisan terluar terkait transformasi perusahaan akibat implementasi Industri 4.0 meliputi bisnis, manajemen dan sumber daya manusia.



Gambar 4. Struktur *Fraunhofer Industrie 4.0 Layer Model* (Neugebauer dkk, 2016)

Tabel 2. Aspek Industri 4.0

No	Aspek	Deskripsi
1	Standardisasi	Meliputi segala usaha menyusun standar dan referensi dalam implementasi Industri 4.0
2	Pemodelan	Meliputi usaha untuk memodelkan sistem yang kompleks di industri
3	Jaringan komunikasi	Ketersediaan teknologi perangkat keras atau lunak untuk pertukaran informasi dan data yang cepat dan <i>real time</i> .
4	<i>Safety and security</i>	Segala hal terkait keamanan sistem pengolahan data dan keamanan penggunaan teknologi bagi manusia.
5	Sumber daya manusia	Meliputi usaha untuk mentransformasi sumber daya manusia agar siap menghadapi perubahan akibat Industri 4.0.
6	Hukum	Meliputi usaha untuk menyusun kerangka hukum dalam implementasi Industri 4.0 (kontrak, perjanjian, aturan, dsb).
7	Efisiensi sumber daya	Meliputi segala usaha untuk melakukan efisiensi sumber daya (energi, biaya, dsb) akibat implementasi teknologi Industri 4.0
8	Teknologi CPS	Segala usaha terkait pengembangan teknologi CPS, IoT, virtualisasi, yang menjadi kunci teknologi Industri 4.0.
9	<i>Smart Factory</i>	Meliputi pengembangan sistem manufaktur/produksi yang otomatis, cerdas, modular dan adaptif.
10	Bisnis	Meliputi penemuan model bisnis baru atau perubahan proses bisnis akibat penerapan Industri 4.0.
11	Desain kerja	Meliputi pengembangan dan penelitian terkait perubahan sistem kerja yang akan dihadapi oleh pekerja.
12	<i>Services</i>	Meliputi segala usaha dalam mengolah <i>big data</i> dan membuat aplikasi pemanfaatannya.
13	Manajemen dan Organisasi	Terkait perubahan dan pengembangan model manajemen dan organisasi karena penerapan Industri 4.0.
14	Rekayasa produk <i>end to end</i>	Terkait rekayasa produk atau layanan yang terdigitalisasi selama siklus hidupnya (<i>smart product</i>).

Model kerangka Industri 4.0 saat ini masih terus dikembangkan. Hal ini bertujuan demi terwujudnya model yang secara global dapat digunakan sebagai acuan penerapan Industri 4.0 di berbagai tipe dan level industri. Berdasar telaah di atas, ditemukan empat belas

aspek yang ada pada Industri 4.0. Aspek-aspek tersebut ditunjukkan pada tabel 2

2. METODE

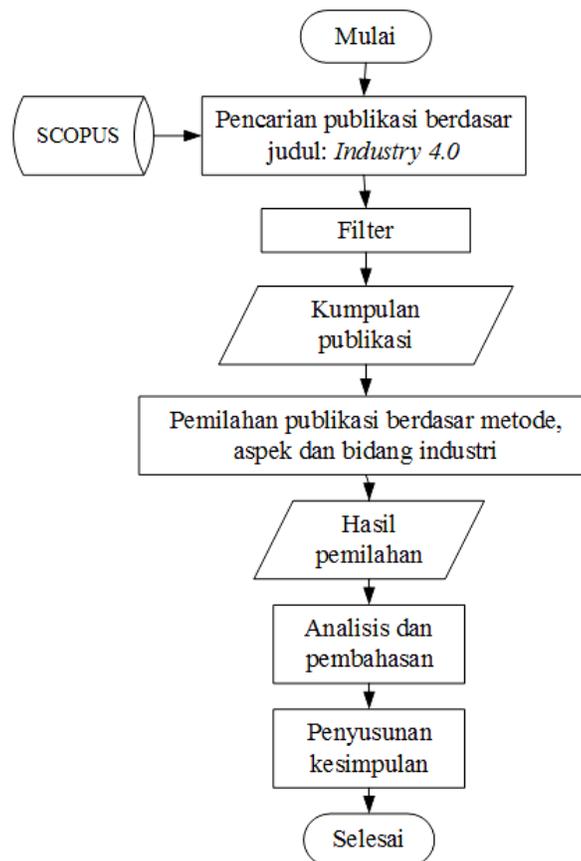
Metode untuk mengetahui arah perkembangan riset Industri 4.0 secara garis besar dapat dilihat pada gambar

5. Tahap pertama adalah pengumpulan data publikasi menggunakan layanan Scopus. Scopus adalah layanan yang memuat *database* abstrak dan sitasi dari berbagai literatur ilmiah meliputi jurnal, buku, dan *prosiding*. Menurut lamannya (www.scopus.com), Scopus memiliki lebih dari 22,748 jurnal di berbagai bidang penelitian yang selalu diperbarui setiap harinya. Menurut Burnham (2006), Scopus mudah untuk digunakan bahkan untuk kalangan pemula sekalipun. Artikel ini memanfaatkan Scopus untuk mencari publikasi berdasar *title/* judul 'Industry 4.0'.

Hasil pencarian kemudian disaring hanya yang berupa artikel pada *prosiding* atau jurnal dan berbahasa

Inggris. Kumpulan publikasi hasil penyaringan kemudian diekspor ke *Microsoft Excel* agar lebih mudah untuk diproses. Publikasi yang tidak memiliki abstrak akan dieliminasi.

Kumpulan hasil publikasi kemudian dipilah menurut metode penelitian, aspek penelitian dan bidang industri penerapan. Pemilahan dilakukan dengan membaca dan memahami abstrak. Pemilahan berdasar metode penelitian menggunakan acuan dari Kothari (2004). Daftar kategori metode penelitian ditunjukkan pada tabel 3.



Gambar 5. Alur Metode Penelitian

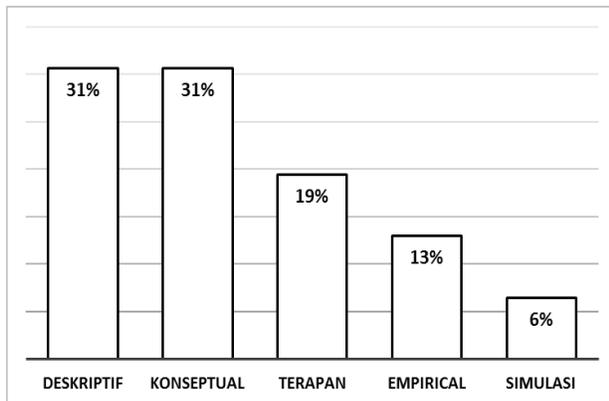
Tabel 3. Kategori Metode Penelitian (Kothari, 2004)

No	Kategori Metode Penelitian	Penjelasan
1	Deskriptif	Penelitian bertujuan mengidentifikasi temuan berdasar fakta dan informasi.
2	Konseptual	Penelitian bertujuan untuk menghasilkan konsep atau ide.
3	Terapan	Penelitian bertujuan mencari solusi dari masalah yang dihadapi di industri dan bisa langsung diterapkan.
4	Empirikal	Pembuktian hipotesis dengan cara pengumpulan data hasil observasi ataupun eksperimen.
5	Simulasi	Pembuktian hipotesis dengan cara membuat simulasi dari sistem riil yang diteliti.

Langkah berikutnya adalah pemilahan berdasar aspek penelitian. Tabel 2 digunakan sebagai acuan pemilahan berdasar aspek penelitian. Pemilahan yang terakhir adalah pemilahan berdasar bidang industri penerapan, misalkan di bidang manufaktur, bisnis, pendidikan, atau bidang lainnya. Hasil pemilahan kemudian dianalisis melalui distribusi persentase dan tren jumlah publikasi berdasar rentang waktu.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

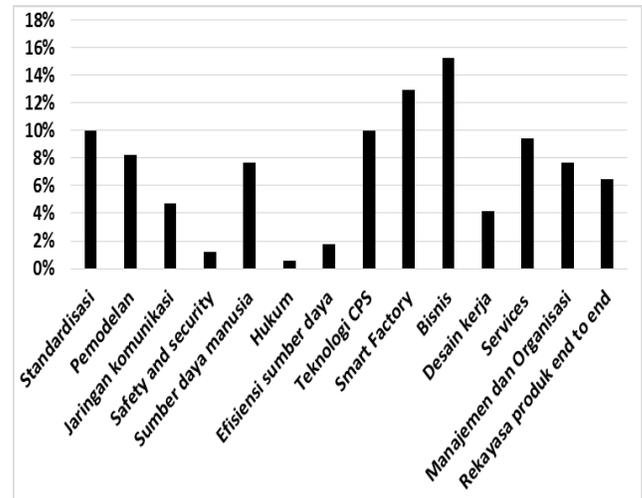
Pencarian publikasi berjudul “Industry 4.0” menghasilkan 210 artikel. Jumlah artikel tersebut berkurang menjadi 170 artikel setelah melalui penyaringan. Hasil pemilahan berdasar metode penelitian ditunjukkan oleh gambar 6.



Gambar 6. Distribusi Jumlah Riset Menurut Metode Penelitian

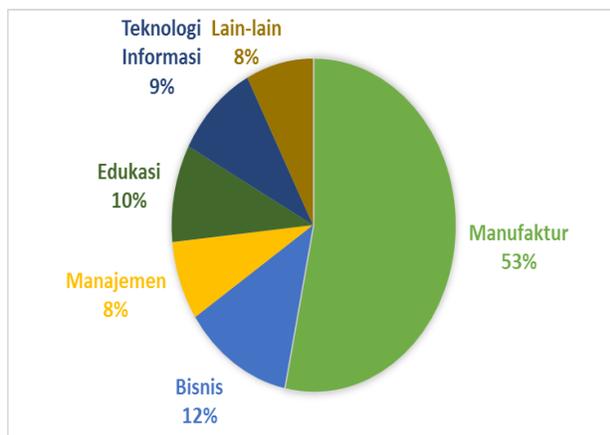
Distribusi sebaran riset didominasi oleh metode deskriptif dan konseptual, masing-masing sebesar 31%. Temuan ini dapat ditafsirkan bahwa konsep Industri 4.0 belum matang dan masih berkembang. Konsep yang telah ada tidak dapat begitu saja dipaksakan untuk diterapkan secara global, karena perindustrian di berbagai belahan dunia memiliki karakteristik yang sangat beragam. Kondisi ini memunculkan peluang bagi para peneliti untuk mengembangkan konsep Industri 4.0 sesuai dengan karakter perindustrian di negaranya masing-masing. Metode penelitian berikutnya adalah terapan dengan porsi 19% diikuti oleh empirikal dengan porsi 13%. Persentase jumlah riset dengan metode simulasi menjadi yang terkecil yaitu 6%. Hasil ini dapat ditafsirkan bahwa usaha untuk mewujudkan Industri 4.0 sudah mulai dilakukan melalui riset terapan dan eksperimen di industri riil. Pengembangan teknologi

Industri 4.0 melalui riset simulasi juga sudah dilakukan meski dengan jumlah yang kecil.



Gambar 7. Distribusi jumlah riset menurut aspek penelitian

Distribusi riset menurut aspek dapat dilihat pada gambar 7. Aspek bisnis memimpin dengan jumlah persentase terbesar (15%), diikuti dengan *smart factory* (13%), teknologi CPS (10%), standarisasi (10%) serta *services* (9%). Lima aspek tersebut memiliki jumlah persentase yang relatif lebih tinggi dibanding aspek-aspek yang lainnya. Aspek bisnis didominasi oleh riset yang bertujuan untuk mengintegrasikan teknologi Industri 4.0 ke dalam model dan proses bisnis yang saat ini ada. Sebagai contoh adalah publikasi oleh De Felice dkk (2016) yang menerapkan RFID (*Radio Frequency Identification*) pada proses logistik sebuah perusahaan operator kereta api di Italia. Persentase konten *smart factory*, teknologi CPS dan *services* yang cukup tinggi (total ketiganya 32%) mengindikasikan bahwa sebagian riset berupaya menanggapi tantangan untuk mewujudkan teknologi Industri 4.0. Salah satu contoh upaya tersebut ditunjukkan oleh Nigappa dan Selvakumar (2016) melalui riset penerapan MicroPLC menjadi aplikasi berteknologi CPS dengan biaya yang murah. Temuan di atas mengindikasikan ada banyak peluang riset terkait model bisnis baru yang akan muncul karena penerapan Industri 4.0 khususnya penerapan teknologi *smart factory* dan CPS. Upaya standarisasi juga telah diupayakan, salah satunya oleh Mazak dan Huemer (2015) yang bertujuan membangun standar kerangka kerja proses bisnis baik secara internal maupun eksternal.

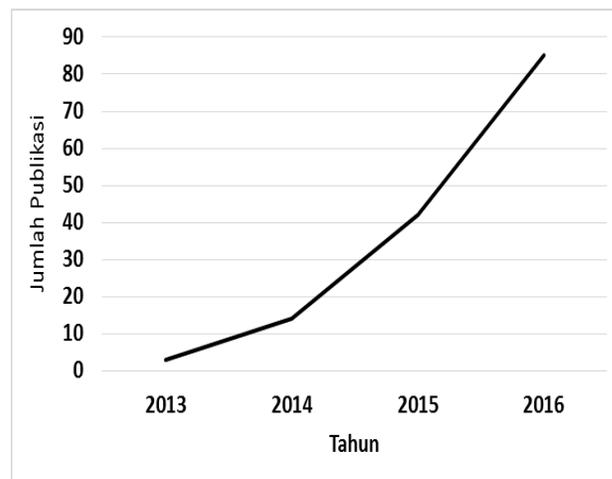


Gambar 8. Distribusi Jumlah Riset Menurut Bidang Industri

Gambar 8 menunjukkan distribusi riset menurut bidang industri. Porsi terbesar adalah bidang manufaktur (53%). Sejumlah riset dilakukan di industri manufaktur yang memproduksi barang secara masal, *job shop*, pengolahan logam dan furnitur. Sebagian besar objek kajian riset terkait proses produksi seperti proses permesinan, optimasi penjadwalan produksi, otomatisasi, desain sistem dan *layout* manufaktur serta interaksi antara manusia dengan proses produksi. Temuan ini menunjukkan bahwa riset Industri 4.0 lebih banyak dilakukan pada jenjang rantai produksi yang menjadi inti dari roda perindustrian.

Bidang berikutnya adalah bisnis (12%) dengan objek kajian meliputi segala upaya untuk mempersiapkan dunia bisnis dalam menghadapi Industri 4.0. Sebagian besar publikasi membahas dunia usaha di wilayah Eropa. Edukasi (10%) juga menjadi bidang yang menarik bagi para peneliti. Beberapa publikasi mengemukakan pengembangan fasilitas pelatihan dan demonstrasi terkait teknologi Industri 4.0. Fasilitas ini ada yang dibangun di lingkungan industri, di perguruan tinggi (Kovar dkk, 2016) atau kerjasama antara keduanya (Landherr dkk, 2016). Bidang teknologi informasi dan manajemen secara berurutan memiliki porsi 9% dan 8%. Selain itu, juga terdapat bidang lainnya (8%) yang menjadi obyek ketertarikan para peneliti yaitu pelayanan publik, pertanian, industri makanan, otomotif, hukum, sosial ekonomi, konstruksi dan kelistrikan.

Tren jumlah riset terkait Industri 4.0 ditunjukkan oleh gambar 9. Dilihat dari rentang waktu selama tiga tahun (antara tahun 2013-2016), jumlah riset yang dilakukan selalu mengalami peningkatan. Peningkatan jumlah riset cukup signifikan, bahkan mendekati dua kali lipat tiap tahunnya. Temuan ini menjadi pertanda bahwa upaya mewujudkan Industri 4.0 dari sisi akademis memiliki tren yang positif.



Gambar 9. Tren Jumlah Riset Industri 4.0

4. KESIMPULAN

Artikel ini menyajikan hasil studi terhadap aspek dan arah perkembangan riset Industri 4.0. Berdasar hasil studi, ditemukan empat belas aspek yang ada pada Industri 4.0. Penelusuran data publikasi telah dilaksanakan untuk mengetahui arah perkembangan riset Industri 4.0. Ditinjau dari metode penelitian, sebagian besar riset dilakukan melalui metode deskriptif dan konseptual. Ditinjau dari aspeknya, aspek bisnis dan teknologi masih menjadi fokus riset para peneliti. Ditinjau dari bidang industri penerapannya, sebagian besar riset dilakukan di bidang manufaktur. Ditinjau dari jumlahnya, riset terkait Industri 4.0 mengalami tren kenaikan yang signifikan. Hasil tersebut menunjukkan bahwa posisi riset Industri 4.0 saat ini berada pada tahap pematangan konsep yang bertujuan agar konsep Industri 4.0 dapat diterapkan secara global tidak hanya di negara maju namun juga negara-negara berkembang. Seiring semakin matangnya konsep Industri 4.0 secara global, riset dengan metode terapan dan empiris diprediksi akan semakin berkembang guna menjawab tantangan realisasi teknologi Industri 4.0. Riset dengan aspek kajian bisnis dan teknologi di bidang manufaktur diprediksi akan menjadi fokus arah pengembangan. Hasil prediksi tersebut mendorong para akademisi agar lebih meningkatkan kerjasama dengan industri manufaktur. Pola kerjasama antara dunia akademik dan industri sangat diperlukan untuk mempercepat realisasi Industri 4.0. Tren peningkatan jumlah riset tiap tahunnya menjadi bukti bahwa para akademisi mulai mengarahkan fokus risetnya pada Industri 4.0. Kondisi ini perlu diperhatikan oleh dunia pendidikan terutama di negara-negara berkembang agar segera tanggap terhadap perubahan yang terjadi dan mempersiapkan sumber daya yang dimiliki dalam rangka menghadapi tren Industri 4.0.

Di sisi lain, Industri 4.0 diprediksi akan membawa dampak negatif terutama dari sudut pandang sosial dan ekonomi (Bonekamp dan Sure, 2015). Dampak ini rentan terjadi terutama pada negara-negara berkembang yang tingkat kesenjangan sosial dan ekonominya masih relatif tinggi. Ke depannya, riset terkait dampak dari penerapan Industri 4.0 juga perlu ditingkatkan sehingga dampak buruk dari kehadirannya dapat diatasi.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Balasingham, K. (2016). Industry 4.0: Securing the Future for German Manufacturing Companies. *Master's Thesis*. University of Twente.
- Bonekamp, L., & Sure, M. (2015). Consequences of Industry 4.0 on human labour and work organisation. *J. Bus. Media Psychol*, No.6, pp.33-40.
- Burnham, J. F. (2006). Scopus database: a review. *Biomedical digital libraries*, 3(1), p.1.
- Davies, R. (2015). *Industry 4.0 Digitalisation for productivity and growth*. [http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRI E/2015/568337/EPRS_BRI\(2015\)568337_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRI E/2015/568337/EPRS_BRI(2015)568337_EN.pdf), Diunduh pada 11 Maret 2017.
- De Felice, F., Petrillo, A., & Zomparelli, F. (2016). Design and control of logistic process in an Italian Company: Opportunities and Challenges based on Industry 4.0 principles. *Proceedings of the Summer School Francesco Turco*.
- Drath, R., & Horch, A. (2014). Industrie 4.0: Hit or hype?[industry forum]. *IEEE industrial electronics magazine*, 8(2), pp. 56-58.
- Heng, S. (2014). *Industry 4.0: Upgrading of Germany's Industrial Capabilities on the Horizon*. <https://ssrn.com/abstract=2656608>, Diakses pada 17 Juni 2017.
- Hermann, M., Pentek, T., & Otto, B. (2016). Design principles for industrie 4.0 scenarios. System Sciences (HICSS), *49th Hawaii International Conference*, pp. 3928-3937.
- Kagermann, H., Lukas, W.D., & Wahlster, W. (2011). *Industrie 4.0: Mit dem Internet der Dinge auf dem Weg zur 4. industriellen Revolution*. <http://www.vdi-nachrichten.com/Technik-Gesellschaft/Industrie-40-Mit-Internet-Dinge-Weg-4-industriellen-Revolution>, Diakses pada 17 Juni 2017.
- Kagermann, H., Lukas, W.D., & Wahlster, W. (2013). *Final report: Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0*. Industrie 4.0 Working Group.
- Kothari, C.R. (2004). *Research Methodology Methods & Techniques*. New Delhi: New Age International (P) Ltd.
- Kovar, J., Mouralova, K., Ksica, F., Kroupa, J., Andrs, O., & Hadas, Z. (2016). Virtual reality in context of Industry 4.0 proposed projects at Brno University of Technology. *Mechatronics-Mechatronika (ME), IEEE 17th International Conference*, pp. 1-7.
- Landherr, M., Schneider, U., & Bauernhansl, T. (2016). The Application Center Industrie 4.0-Industry-driven Manufacturing, Research and Development. *Procedia CIRP*, 57, pp. 26-31.
- Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H.G., Feld, T. & Hoffmann, M. (2014). Industry 4.0. *Business & Information Systems Engineering*, 6(4), p.239.
- Lee, E.A. (2008.). Cyber physical systems: Design challenges. In *Object Oriented Real-Time Distributed Computing (ISORC), 11th IEEE International Symposium*, pp. 363-369.
- Mazak, A., & Huemer, C. (2015). A standards framework for value networks in the context of Industry 4.0. In *Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM), 2015 IEEE International Conference*, pp. 1342-1346.
- Merkel, A. (2014). *Speech by Federal Chancellor Angela Merkel to the OECD Conference*. https://www.bundesregierung.de/Content/EN/Reden/2014/2014-02-19-oecd-merkel-paris_en.html, Diakses pada 11 Maret 2017.
- Neugebauer, R., Hippmann, S., Leis, M., & Landherr, M. (2016). Industrie 4.0-From the Perspective of Applied Research. *Procedia CIRP*, Vol. 57, pp. 2-7.
- Nigappa, K., & Selvakumar, J. (2016). Industry 4.0: A Cost and Energy efficient Micro PLC for Smart Manufacturing. *Indian Journal of Science and Technology*, Vol. 9, Issue. 44.
- Qin, J., Liu, Y., & Grosvenor, R. (2016). A Categorical Framework of Manufacturing for Industry 4.0 and Beyond. *Procedia CIRP*, Vol. 52, pp. 173-178.
- Rüßmann, M., Lorenz, M., Gerbert, P., Waldner, M., Justus, J., Engel, P. & Harnisch, M. (2015). *Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries*. Boston Consulting Group, p.14.
- Schlechtendahl, J., Keinert, M., Kretschmer, F., Lechler, A., & Verl, A. (2015). Making existing production systems Industry 4.0-ready. *Production Engineering*, Vol. 9, Issue.1, pp.143-148.
- Schmidt, R., Möhring, M., Härting, R. C., Reichstein, C., Neumaier, P. & Jozinović, P. (2015). Industry 4.0-potentials for creating smart products: empirical research results. *International Conference on Business Information Systems*, pp. 16-27.
- Stock, T. & Seliger, G. Opportunities of sustainable manufacturing in Industry 4.0. *Procedia CIRP*, Vol.40, pp. 536-541.
- VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik. (2015). Status Report:Reference Architecture Model Industrie 4.0 (RAMI4.0) (Vol. 0). <http://www.zvei.org/Downloads/Automation/5305>

Publikation GMA Status Report ZVEI Reference Architecture Model.pdf, Diunduh pada 17 Juni 2017. VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik. (2016). Statusreport: Industrie 4.0 – Technical Assets Basic terminology concepts, life cycles and administration models. https://www.vdi.de/fileadmin/vdi_de/redakteur_dateien/gma_dateien/6092_PUB_E_TW_GMA_Status_Report_ZVEI_-_Industrie_4_0_-_Technical_Assets_Internet.pdf, Diunduh pada 17 Juni 2017.

Zezulka, F., Marcon, P., Vesely, I., & Sajdl, O. (2016). Industry 4.0—An Introduction in the phenomenon. *IFAC-PapersOnLine*, Vol. 49, Issue. 25, pp. 8-12.

Zhou, K., Taigang L., & Lifeng, Z. (2015). Industry 4.0: Towards future industrial opportunities and challenges. *In Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD), IEEE 12th International Conference*, pp. 2147-2152.