

Perkembangan Keilmuan Teknik Industri Menuju Era Industri 4.0

Hoedi Prasetyo^{1,2)}, Wahyudi Sutopo³⁾

¹⁾Mahasiswa Program Studi Magister Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret
Surakarta, Jl. Ir. Sutami No. 36A, Kentingan, Surakarta, 57126

²⁾Staf pengajar Program Studi Teknik Mekatronika, Politeknik ATMI Surakarta, Jl. Adisucipto/ Jl. Mojo
No.1, Laweyan Surakarta, 57145

³⁾ Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Surakarta, 57126,
Indonesia

Email: hoedi@student.uns.ac.id, wahyudisutopo@staff.uns.ac.id

ABSTRAK

Perkembangan dunia industri sudah di ambang pintu masuk ke era Industri 4.0. Kondisi tersebut tidak terlepas dari perkembangan keilmuan teknik industri yang pesat. Melalui studi literatur, tulisan ini bertujuan melihat dari sudut pandang filsafat ilmu mengenai bagaimana kemunculan Industri 4.0 dikaitkan dengan perkembangan keilmuan teknik industri, apa tantangan yang dihadapi serta bagaimana seharusnya arah perkembangan ilmu teknik industri. Hasil studi ini menunjukkan bahwa dalam perkembangannya, ilmu teknik industri bersinergi dengan sains dan ilmu kerekayasaan yang lain sehingga membawa pengaruh bagi dunia industri hingga berevolusi sampai pada munculnya gagasan Industri 4.0. Gagasan tersebut membawa konsep penggabungan teknologi digital dan internet dengan industri konvensional yang pada akhirnya bertujuan meningkatkan produktivitas, efisiensi dan layanan konsumen secara signifikan. Namun di samping itu, ada pula konsekuensi yang harus dihadapi terkait dampak negatif Industri 4.0 termasuk di dalamnya dampak terhadap keilmuan teknik industri. Di sinilah muncul berbagai tantangan bagi keilmuan teknik industri. Ada banyak peran yang dapat dilakukan keilmuan teknik industri menghadapi tantangan kemunculan Industri 4.0. Peran yang utama adalah fokus mengkaji interaksi manusia dengan berbagai komponen lainnya dalam sistem terintegrasi di industri. Selain itu, juga disarankan ada penyesuaian dan upgrade kurikulum ilmu teknik industri agar keilmuan teknik industri siap menghadapi perubahan yang terjadi dan lulusannya tetap dapat dibutuhkan di dunia industri.

Kata kunci: filsafat ilmu, industri 4.0, teknik industri

1. Pendahuluan

Industri 4.0 merupakan istilah yang relatif baru dan mungkin masih belum banyak diketahui dan dipahami oleh khalayak di bidang industri. Menurut pendapat Menteri Perindustrian dan Perdagangan (Kabinet Kerja) Airlangga Hartarto dikutip dari Gliemourinsie (2016), Industri 4.0 menjadikan proses produksi berjalan dengan internet sebagai penopang utama. Semua obyek dilengkapi perangkat teknologi yang dibantu sensor dan mampu berkomunikasi sendiri dengan sistem teknologi informasi. Roser (2015) menyampaikan pendapatnya bahwa tanda kemunculan Industri 4.0 dimulai di Hannover, Jerman, saat diadakan Hannover Messe/Fair (merupakan sebuah pertemuan skala internasional dalam bidang industri dan otomasi) di tahun 2011. Pada pertemuan tersebut, pemerintah Jerman mengumumkan kepada publik akan menggelontorkan dana sebesar 400 juta euro untuk penelitian dan pengembangan Industri 4.0. Ada yang berpendapat (yang nanti akan dijelaskan lebih detail) bahwa kemunculan Industri 4.0 ini akan membawa dampak yang besar pada bidang industri, ekonomi bahkan kondisi sosial masyarakat secara global.

Jika melihat pada penjelasan mengenai Industri 4.0 yang erat kaitannya dengan proses produksi, maka kehadirannya tidak terlepas dari pengaruh keilmuan teknik industri. Keilmuan teknik industri sejak era revolusi industri berkembang pesat sampai ke zaman modern. Lingkup kajiannya yang semula sempit menjadi semakin luas. Kondisi itu memunculkan pertanyaan apakah perkembangan ilmu teknik industri memiliki keterkaitan dengan munculnya fenomena Industri 4.0? Dan apa pengaruh fenomena Industri 4.0 terhadap keilmuan teknik industri?

Tulisan ini berusaha menjawab pertanyaan-pertanyaan tersebut dengan menggali melalui studi literatur dan sekaligus memberikan saran terhadap arah perkembangan keilmuan teknik industri.

2. Metode

Berdasar latar belakang di atas, tulisan ini berusaha melihat permasalahan dari sudut pandang filsafat ilmu mengenai bagaimana sebenarnya kemunculan Industri 4.0 jika dikaitkan dengan perkembangan keilmuan teknik industri dan apa tantangan yang dihadapi ilmu teknik industri terkait hadirnya Industri 4.0. Langkah-langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut, (1) mengumpulkan informasi melalui literatur buku, artikel dan website terkait filsafat ilmu, perkembangan keilmuan teknik industri dan Industri 4.0, (2) menarik keterkaitan antara perkembangan keilmuan teknik industri dengan munculnya fenomena Industri 4.0, (3) menyusun gambaran mengenai tantangan yang akan dihadapi keilmuan teknik industri dalam menghadapi Industri 4.0, (4) memberikan saran terhadap arah perkembangan keilmuan teknik industri.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pemahaman Filsafat Ilmu

Secara etimologis istilah filsafat berasal dari kata *philosophia* (bahasa Yunani) yang terdiri dari kata *philos* (cinta) dan *sophia* (kebijaksanaan), sehingga dapat diartikan menjadi kecintaan akan kebijaksanaan. Sedangkan ilmu/*science* menurut Samir (2002) adalah usaha untuk memahami, menjelaskan dan memperkirakan semua sifat yang ada di alam semesta menggunakan metode ilmiah. Filsafat dan ilmu merupakan dua hal yang berkaitan sehingga pada perkembangannya menjadi sebuah kajian tersendiri yang disebut filsafat ilmu. Filsafat ilmu memiliki hubungan yang erat terkait metode ilmiah. Samir (2002) memberikan pengertian sederhana bahwa filsafat ilmu adalah cara untuk menguji asumsi dan metode yang digunakan ilmuwan dalam menghasilkan ilmu. Filsafat ilmu memiliki tiga landasan utama berpikir yaitu, (1) Ontologi, analisis mengenai obyek yang dikaji oleh ilmu. (2) Epistemologi, analisis mengenai metode yang digunakan untuk menyusun ilmu. (3) Aksiologi, analisis mengenai penerapan dan manfaat hasil temuan ilmu tersebut.

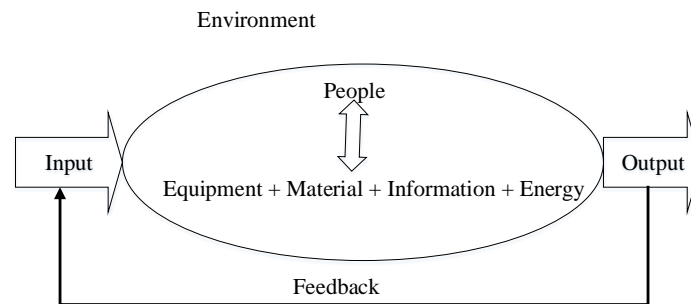
Perkembangan ilmu tidak terlepas dari rasa keingintahuan besar yang diiringi dengan berbagai usaha yang sungguh-sungguh melalui penalaran, percobaan, penyempurnaan, dan berani mengambil resiko tinggi (Karim, 2012). Di sinilah filsafat ilmu berperan mendorong ilmuwan dan para ahli untuk selalu mempelajari dan mengarahkan tentang bagaimana seharusnya memanfaatkan ilmu serta ke mana ilmu harus dikembangkan.

3.2 Perkembangan Keilmuan Teknik Industri

Revolusi industri di Inggris yang ditandai dengan penemuan mesin uap pada akhir abad ke-18 mendorong pertumbuhan industri. Produksi yang awalnya bersifat industri rumah tangga bergeser menjadi sistem produksi fabrikasi. Tuntutan untuk menghasilkan produk secara massal memunculkan pertanyaan bagaimana mengatur sumber daya yang ada pada industri meliputi manusia, mesin dan material agar mampu mencapai produktivitas yang lebih baik. Berawal dari sini, ilmu teknik industri lahir untuk menjawab kebutuhan tersebut.

Ilmu teknik industri merupakan sebuah ilmu kerakyasaan yang memiliki obyek kajian sistem integral yang terdiri dari manusia sebagai unsur utama, mesin dan material. Hasil keluaran dari garapan ilmu ini bukan produk riil, melainkan nilai tambah (*added value*). Berbeda dengan disiplin ilmu kerakyasaan lainnya, teknik industri mengkaji secara intens proses interaksi antara manusia dengan manusia, manusia dengan mesin dan manusia dengan material. Sedangkan interaksi antara mesin dengan material menjadi garapan utama disiplin

ilmu rekayasa lainnya. Dalam perkembangannya, komponen informasi dan energi ditambahkan ke sistem integral tersebut sehingga sistemnya menjadi seperti pada gambar 1.



Gambar 1. Sistem Terintegrasi Sebagai Obyek Kajian Teknik Industri

Di awal era kelahirannya, teknik industri masih berfokus pada perbaikan metode kerja dan spesialisasi kerja. Era ini disebut era manajemen ilmiah. Periode berikutnya, pemikiran ilmu teknik industri berkembang ke arah interaksi manusia dan organisasi. Penemuan mesin-mesin produksi yang ditenagai oleh listrik mendorong dilakukannya produksi secara massal. Kondisi tersebut menjadikan proses pengorganisasian produksi menjadi lebih sulit. Selain itu juga ditemukan bukti bahwa faktor hubungan antar manusia dalam sebuah perusahaan ternyata berpengaruh terhadap produktivitas. Era ini disebut era manajemen administrasi dan perilaku dimana menghasilkan kontribusi tentang prinsip-prinsip manajemen.

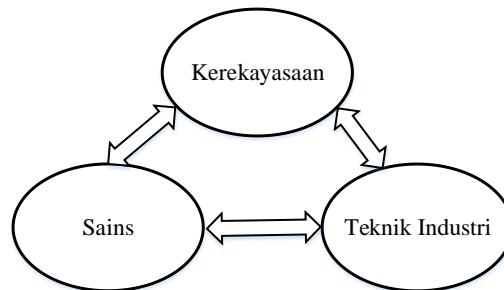
Awal abad ke-20 ditandai dengan terjadinya dua kali perang dunia. Kebutuhan yang besar untuk kepentingan militer sangat berpengaruh, sehingga kajian ilmu teknik industri berkembang menjadi bagaimana mengoptimalkan sumber daya yang terbatas. Pada periode ini ciri yang menonjol adalah pemanfaatan ilmu matematika dalam memodelkan sistem guna mencari solusi, sehingga lahir pendekatan *operation research* dan simulasi (dipengaruhi juga oleh penemuan teknologi komputer). Era ini disebut era sains manajemen.

Teknologi komputer dan *embedded system* mulai berkembang pada pertengahan abad ke-20 yang mengakibatkan teknologi otomasi untuk berbagai proses produksi juga mulai banyak diterapkan. Perkembangan tersebut mempengaruhi pemikiran ilmu teknik industri ke arah berpikir secara sistem dan terintegrasi. Pemikiran di era ini disebut sistemik terintegrasi. Fokus kajian di periode ini tidak hanya berpusat pada sistem manusia, mesin dan material saja, tetapi juga memperhatikan faktor lingkungan eksternal sehingga menjadi lebih kompleks. Kebutuhan untuk menyelesaikan masalah pada tingkatan manajerial dan manajemen puncak menjadi lebih besar. Kondisi ini menuntut ilmu teknik industri supaya memandang sistem dari seluruh aspek secara holistik. Ciri yang menonjol dari periode ini adalah berkembangnya kajian mengenai pemodelan sistem (*system thinking*), sistem pendukung keputusan dan otomasi. Penetrasi ilmu manajemen dari industri Jepang (*continous improvement, just in time, dsb*) juga cukup berpengaruh pada periode ini yang bahkan juga dapat diterapkan pada sektor pelayanan publik (Fryer dkk., 2007).

Perkembangan teknologi informasi yang pesat (ditandai dengan penggunaan internet secara luas) pada akhir abad ke-20 membawa pengaruh yang besar pada perkembangan cara berpikir ilmu teknik industri. Prinsip berpikir berubah menjadi berpikir secara global dan melihat sistem terintegrasi secara lebih luas sebagai jaringan antar industri. Dua isu yang menjadi fokus di era ini adalah jejaring kerja sama dan teknologi informasi. Era ini disebut era Global dan Informasi. Hadirnya *e-supply chain* menjadi salah satu tanda perkembangan teknik industri di era ini.

Jika dilihat dari fase perkembangannya, era manajemen administrasi dan perilaku banyak dipengaruhi oleh ilmu sosial dan psikologi. Era sains manajemen banyak dipengaruhi oleh ilmu matematika dan statistik. Sedangkan era sistem terintegrasi dan global-informasi banyak

dipengaruhi oleh perkembangan ilmu komputer, elektronika dan teknologi informasi. Hal tersebut membuktikan bahwa perkembangan ilmu teknik industri tidak terlepas dari peran perkembangan sains dan ilmu kerekayasaan yang lain. Melalui prinsip filsafat ilmu, teknik industri selalu berkembang menyesuaikan perkembangan pengetahuan yang lain. Ilmu teknik industri, sains dan ilmu kerekayasaan yang lain akan saling berinteraksi dan bersinergi untuk berkembang seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Sinergi antar Sains, Kerekayasaan dan Teknik Industri (Nur Bahagia, 2007)

Sulistiyowati dan Sutopo (2015) berpendapat bahwa keilmuan teknik industri berkembang dengan cara menerapkan ide – ide baru yang bermanfaat bagi kehidupan manusia. Hal ini juga didukung oleh Mendoza dkk (2016), yang menyatakan bahwa ilmu teknik industri telah memainkan peran dalam pengembangan masyarakat. Menurutnya, keilmuan teknik industri terbukti mampu memenuhi kebutuhan berbagai bidang meliputi sosial, ekonomi, finansial, lingkungan dan komputer.

3.3 Industri 4.0 dan Kaitannya dengan Keilmuan Teknik Industri

Adanya sinergi di antara ketiga disiplin ilmu seperti yang ditunjukkan oleh gambar 2 ternyata juga berdampak bagi perkembangan ilmu kerekayasaan yang lain, termasuk di bidang otomasi. Tabel 1 memberikan gambaran bagaimana teknologi otomasi berkembang.

Tabel 1. Perkembangan Teknologi Otomasi (disarikan dari berbagai sumber)

	1700-1800an	1850-1930	1930-1960	1960-1980	1980-2000	2000-sekarang
Faktor Pendorong	- Ide close loop system oleh René-Antoine Ferchault de Réaumur (1700). - Penemuan mesin uap oleh James Watt (1788). - Munculnya konsep Servomekanik oleh Jean Joseph Léon Farcot (1873).	- Penemuan relai elektromekanikal oleh Joseph Henry (1797–1878). - Penerapan assembly line untuk produksi mobil oleh Henry Ford (1913). - Penggunaan listrik secara masif untuk industri di Amerika pada 1920-an.	- Penemuan metode penyimpanan data "punch card" oleh Herman Hollerith (1890) dan dikomersilkan oleh IBM tahun 1930-an. - Mesin Numerical Control mulai dikembangkan oleh J. Parson pada 1951.	- Instalasi perdana robot industri "Unimation" pada 1961. - Hadimya mikroprosesor komersial pertama 4-bit Intel 4004 pada 1971. - Teknologi PLC diperkenalkan oleh Dick Morley pada 1968.	- Berkembangnya "Expert System" dan perangkat komputer pada 1980-an. - Berkembangnya teknologi embedded system (mikrokontroler). - CASA/SME memperkenalkan dan mengembangkan konsep CIM pada 1984.	- Komersialisasi teknologi cloud computing. Pada 2006 Amazon memperkenalkan Elastic Compute Cloud. - Berkembangnya teknologi perangkat kendali berbasis embedded web server. - Rilis teknologi kecepatan internet 4G pada 2009.
Metode	Kendali Manual	Kendali logika saklar listrik (on/off)	Kendali proses permesinan berbasis komputer digital elektromekanik (punch card).	Kendali proses permesinan dengan komputer elektronik solid state.	Computer Integrated Manufacturing	Smart Manufacturing
Teknologi	Mekanisasi, Kendali close loop pneumatik dan hidrolik	Relai dan saklar analog, Assembly line, Servomekanik /motor	Mesin-mesin Numerical Control	Programmable Logic Control, Computer Numerical Control, Industrial Robot	CAD-CAM-CAE, Flexible Manufacturing System, AGV, Lean Manufacturing, ACS, ASRS	Cyber Physical System, Internet of Things, Big data analysis, Virtual -Augmented Reality
Luaran (level otomasi)	Penggantian tenaga manusia oleh tenaga mesin dan peralatan.	Single-cycle automatics and static machine/workstation	Automatic repeating cycle.	Feedback by self-measuring and self-adjusting. Machines can do complex tasks.	Totally automatic production process in the factory.	All information and control is handled by the automation system, the machines work and cooperate to solve all deviations or problems that occur by themselves.

Jika ditelusur dari sejarah perkembangannya, teknologi otomasi juga lahir dari revolusi industri. Menurut parlemen Uni Eropa/ *European Parliament* dalam Davies (2015), revolusi industri terjadi empat kali. Yang pertama terjadi di Inggris pada tahun 1784 di mana penemuan mesin uap dan mekanisasi mulai menggantikan pekerjaan manusia. Revolusi yang kedua terjadi pada akhir abad ke-19 dimana mesin-mesin produksi yang ditenagai oleh listrik dan metode *assembly line* mulai dikembangkan untuk kegiatan produksi secara masal. Penggunaan

teknologi komputer untuk otomasi pada kegiatan manufaktur mulai tahun 1970 menjadi tanda revolusi industri yang 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 industri ke empat atau Industri 4.0.

Pengertian mengenai Industri 4.0 itu sendiri beragam. Hal ini disebabkan karena Industri 4.0 masih dalam tahap penelitian dan pengembangan. Menurut kanselir Jerman, Angela Merkel (2014), Industri 4.0 adalah transformasi komprehensif dari keseluruhan aspek produksi di industri melalui penggabungan teknologi digital dan internet dengan industri konvensional. *German Trade and Invest* dalam MacDougall (2014) menjelaskan lebih detail bahwa “*Smart industry or INDUSTRIE 4.0 refers to the technological evolution from embedded systems to cyber-physical system. INDUSTRIE 4.0 represents the coming fourth industrial revolution on the way to an Internet of Things, Data and Services. Decentralized intelligence helps create intelligent object networking and independent process management, with the interaction of the real and virtual worlds representing a crucial new aspect of the manufacturing and production process*”. Berdasar penjelasan tersebut, dapat disimpulkan ada beberapa teknologi yang menjadi penopang Industri 4.0. Teknologi tersebut adalah *Cyber-Physical System*, Internet dan Jaringan, *Data and Services* serta teknologi manufaktur.

Penjelasan yang lebih mudah dipahami mungkin dapat mengacu pada pendapat Federasi Industri Jerman/ BDI (2016) yang menjelaskan bahwa Industri 4.0 memiliki sifat atau komponen sebagai berikut,

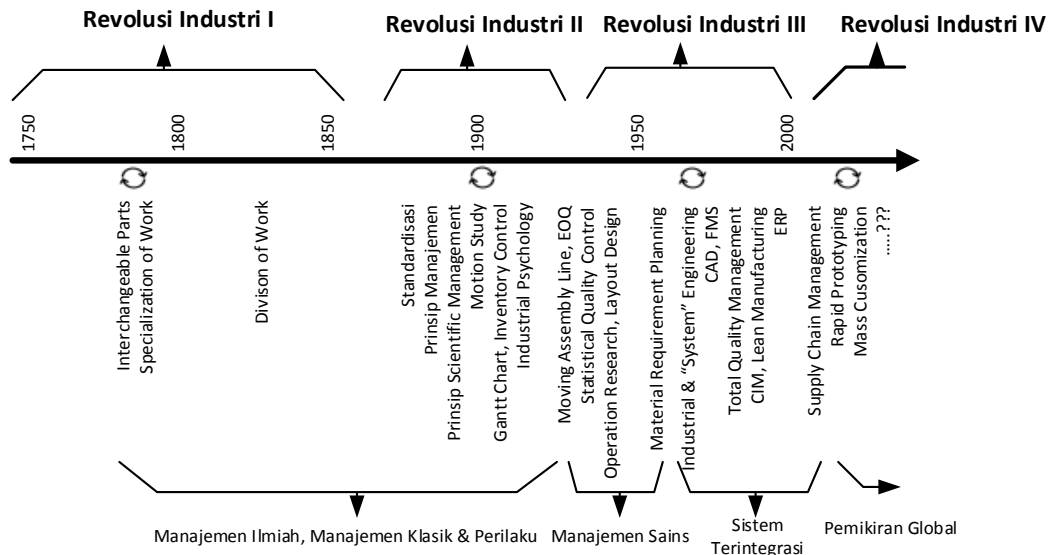
(1) *Social Machines*. Mesin-mesin yang canggih saling berinteraksi seperti layaknya manusia dengan media sosial online. Mesin-mesin bekerja sama dan mengorganisasi diri mereka untuk mengatur proses produksi sesuai jadwal. Bahkan, mereka mampu memprediksi secara dini jika ada kemungkinan masalah sehingga dapat segera ditangani (Lee dkk, 2013). Hal ini mengakibatkan proses produksi menjadi lebih efektif dan efisien. Selain itu, mereka juga terhubung secara *real time* dengan sistem IT di perusahaan sehingga dapat berkomunikasi dengan bagian *maintenance*, penjualan, *RnD* atau bagian yang lainnya.

(2) *Global Facility* dan *Virtual Production*. Mesin-mesin perusahaan terhubung ke sistem penyedia dan pelanggan. Jika terjadi perubahan maka mereka akan langsung mencari solusi yang optimal dan bertindak secara independen (misalkan jika penyedia tidak bisa mengirim material). Operator dapat menggunakan teknologi virtual (*augmented reality*) untuk mengawasi dan mengendalikan jalannya proses produksi. Kondisi ini memungkinkan pengendalian produksi dapat dilakukan pada jarak jauh sehingga pekerja lebih leluasa. Sebagai tambahan, simulasi virtual juga dapat membantu tenaga ahli perusahaan untuk mengoptimasi proses produksi secara *real time*.

(3) *Smart Products*. Tiap produk yang dihasilkan menyimpan data (operasi, status, material, asal penyedia, konsumen, dsb) dalam bentuk *RFID chips*. Melalui teknologi ini, produk yang belum jadi mampu memberitahu mesin apa yang harus dilakukan untuk memprosesnya. Bahkan, pelanggan dapat terlibat untuk memantau proses produksinya.

(4) *Smart Services*. Produk yang telah dipasarkan dan berada di tangan konsumen masih tetap mampu mengumpulkan dan mengirim data terkait perilaku penggunaan produk tersebut. Selanjutnya, data yang terkumpul akan dianalisis oleh produsen. Produsen akan melakukan perbaikan dan pengembangan produk sehingga mampu memberikan pelayanan yang lebih baik kepada pelanggan.

Lalu bagaimanakah keterkaitan antara keilmuan teknik industri dengan Industri 4.0? Gambar 3 menunjukkan bagaimana perkembangan pemikiran keilmuan teknik industri terlibat dalam perkembangan industri pada tiap periode revolusi industri hingga menuju revolusi industri ke empat.



Gambar 3. Perkembangan Keilmuan Teknik Industri pada Revolusi Industri

Jika dicermati, sumbangsih keilmuan teknik industri pada tiap periode memiliki ciri tertentu seperti ditunjukkan pada tabel 2.

Tabel 2. Ciri Peran Keilmuan Teknik Industri terhadap Perkembangan Industri

Periode	Ciri	Aliran Pemikiran Teknik Industri	Peran Keilmuan Teknik Industri
Revolusi Industri I	*Penemuan Mesin Uap. *Mesin mulai menggantikan tenaga manusia.	Manajemen ilmiah era perintisan	Meningkatkan produktivitas dengan memperbaiki interaksi manusia dengan mesin dan material
Revolusi Industri II	*Penggunaan listrik untuk mesin produksi. *Produksi dilakukan secara masal.	Manajemen ilmiah era tradisional dan modern. Manajemen administrasi dan perilaku.	Pengorganisasian dan manajemen pabrik yang semakin besar dan cepat dalam berproduksi.
Revolusi Industri III	*Penerapan komputer, IT dan elektronika untuk otomasi produksi. *Perangkat dan metode analisis sudah banyak tersedia. *Persaingan ketat dan cakupan kompleks	Manajemen sains. Sistem terintegrasi.	*Mengoptimalkan produktivitas dengan segala keterbatasan sumber daya. *Dengan berbagai "analysis tool" membantu dalam pengambilan keputusan yang efektif.
Revolusi Industri IV	*Penerapan Cyber Physical System, Internet of Things, Internet of Services dan Big Data Analysis. *Smart Factory dan Smart Product	Global dan Informasi	???

Berdasar penjelasan di atas dapat disimpulkan bahwa perkembangan keilmuan teknik industri ternyata memiliki peran dalam tiap tahap perkembangan dunia industri hingga menuju ke revolusi industri ke empat. Gagasan Industri 4.0 merupakan hasil terkini dari perkembangan berbagai ilmu rekayasa termasuk di dalamnya ilmu teknik industri.

3.4 Tantangan yang Dihadapi Keilmuan Teknik Industri

Kehadiran Industri 4.0 akan memberikan manfaat dalam hal peningkatan produktivitas, efisiensi, fleksibilitas dan tingkat kustomisasi produk yang tinggi bagi dunia industri. Namun di sisi lain, setiap perubahan dapat membawa dampak lain yang merugikan. Menurut pendapat Schwab (2015), kehadiran Industri 4.0 akan memiliki beberapa dampak yaitu,

- (1) adanya kesenjangan yang luar biasa terkait tenaga kerja "low-skill/low-pay" dan "high-skill/high-pay",
- (2) pengambil keuntungan terbesar hanyalah pihak yang memiliki modal dan teknologi,
- (3) ketidakstabilan dunia bisnis karena perubahan yang sangat cepat,
- (4) ketidaksiapan pemerintah dalam mengimbangi perubahan yang cepat di masyarakat,
- (5) isu keamanan dan privasi data,
- (6) munculnya fenomena "robotisasi" kemanusiaan.

Sedangkan Sackey (2016) memperkirakan Industri 4.0 akan berdampak langsung terhadap berkurangnya peran keilmuan teknik industri dalam hal perencanaan produksi, optimasi terkait pekerjaan manual sederhana yang berulang, *statistical process control* yang bersifat manual-tradisional serta metode perakitan part secara manual. Preez dan Pintelon (1994) juga pernah memperingatkan insinyur teknik industri agar tidak terjebak di antara dua revolusi (revolusi industri dan revolusi informasi) yang berakibat pada keusangan keilmuan teknik industri. Penjelasan di atas menunjukkan ada begitu banyak tantangan yang harus dihadapi oleh keilmuan teknik industri baik yang berkaitan langsung dengan keilmuan teknik industri ataupun yang tidak berkaitan langsung.

3.5 Saran Terhadap Arah Perkembangan Keilmuan Teknik Industri

Saat ini Industri 4.0 memang masih belum banyak diterapkan. Industri 4.0 membutuhkan tahapan penelitian yang cukup panjang untuk menghasilkan konsep yang matang dan hasil konkrit (Roser, 2015). Namun, Sackey (2016) menegaskan bahwa insinyur teknik industri harus mulai membekali diri dengan pengetahuan dan kecakapan (terutama) dalam bidang analisis *big data* dan *human-machine interface*. Mendoza dkk (2016) juga menyarankan hendaknya keilmuan teknik industri ke depannya harus mampu mengintegrasikan konten rekayasa, sains dan teknologi dengan kemanusiaan. Beberapa hal yang dapat menjadi bentuk peran keilmuan teknik industri yaitu,

- (1) Berperan ikut membangun platform Industri 4.0 untuk berbagai jenis dan tingkatan industri, terutama industri/usaha kecil menengah.
- (2) Pengembangan sistem manajemen sumber daya manusia dan pengupahan tenaga kerja, karena peran manusia yang mulai tergantikan teknologi.
- (3) Turut serta mengkonstruksi algoritma sistem informasi yang diperlukan dalam penerapan Industri 4.0.
- (4) Mengimplementasikan prinsip *human factor* dan ergonomi (sebagai contoh dalam mendesain stasiun kerja, pembagian peran otomasi dan manusia, dsb).
- (5) Pengembangan model dan proses bisnis baru yang mengadopsi Industri 4.0, serta kemungkinan peran lainnya yang dapat diteliti lebih lanjut. Selain beberapa peran tersebut, hendaknya perlu dilakukan juga penyesuaian dan *upgrade* kurikulum ilmu teknik industri agar keilmuan teknik industri siap menghadapi perubahan yang akan terjadi dan lulusannya tetap dapat dibutuhkan di dunia industri.

4. Simpulan

Ditinjau dari filsafat ilmu, keilmuan teknik industri berkembang pesat dengan obyek kajian yang semakin luas, metode yang semakin kaya dan peran yang semakin besar dalam berbagai bidang. Perkembangan ilmu teknik industri selalu bersinergi dengan disiplin ilmu sains dan ilmu rekayasa yang lain (terutama bidang otomasi). Keilmuan teknik industri telah terbukti memiliki peran dalam melahirkan fenomena Industri 4.0. Terlepas dari segala keuntungan dan kemudahan yang akan diberikan oleh Industri 4.0, tetap ada konsekuensi dan dampak negatif yang harus dihadapi. Tidak terkecuali terhadap keilmuan teknik industri itu sendiri. Di sinilah tantangan keilmuan teknik industri untuk terus mengkaji dan mengembangkan bidang keilmuannya. Meskipun ada pengaruh dari perubahan zaman dan perkembangan keilmuan yang lainnya, hendaknya ilmu teknik industri tetap mempertahankan keunikannya yaitu fokus mengkaji interaksi manusia dengan berbagai komponen lainnya dalam sistem terintegrasi di industri. Diharapkan ke depannya, teknik industri dapat memiliki peran dalam mengarahkan era Industri 4.0 kepada kemajuan ilmu yang memberikan nilai manfaat besar bagi kemanusiaan.

Daftar Pustaka

- Davies, R. (2015). *Industry 4.0 Digitalisation for productivity and growth*. [http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2015/568337/EPRS_BRI\(2015\)568337_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2015/568337/EPRS_BRI(2015)568337_EN.pdf), Diunduh pada 11 Maret 2017.
- Fachruddin, S. (2016). *Pengantar Filsafat Ilmu*. Bandung: IPB Press Printing.
- Federasi Industri Jerman. (2016). *What is Industry 4.0?*. <http://english.bdi.eu/article/news/what-is-industry-40/>, Diakses pada 11 Maret 2017.
- From, J., Lindstrom, V., Stahre, J., Winroth, M. (2008). *Levels of Automation in Manufacturing*. *Ergonomia-International Journal of Ergonomics and Human Factors*, Vol. 30, Issue 3.
- Fryer, KJ., Antony, J., Douglas, A. (2007). *Critical Success Factors of Continuous Improvement in The Public Sector: A literature review and some key findings*. *The TQM Magazine*, Vol. 19, No. 5, pp. 497-517.
- Glienmourinsie, D. (2016). *Industri Nasional Harus Siap Hadapi Era Industri 4.0*. <https://ekbis.sindonews.com/read/1141743/34/industri-nasional-harus-siap-hadapi-era-industri-40-1474630359>, Diakses pada 9 Maret 2017.
- Hayden, E., Assante, M., Conway, T. (2014). *An Abbreviated History of Automation & Industrial Controls Systems and Cybersecurity*. <https://ics.sans.org/media/An-Abbreviated-History-of-Automation-and-ICS-Cybersecurity.pdf>, Diunduh pada 25 Maret 2017.
- Karim, A. (2012). *Sejarah Perkembangan Ilmu Pengetahuan*. *Fikrah: Jurnal Ilmu Aqidah dan Studi Keagamaan*, Vol. 2, No. 1.
- Lee, J., Lapira, E., Bagheri, B., Kao, H. (2013). *Recent advances and trends in predictive manufacturing systems in big data environment*. *Manufacturing Letters* 1, pp. 38-41.
- MacDougall, W. (2014). *INDUSTRIE 4.0: Smart Manufacturing for the Future*. https://www.gtai.de/GTAI/Content/EN/Invest/_SharedDocs/Downloads/GTAI/Brochures/Industries/industrie4.0-smart-manufacturing-for-the-future-en.pdf?v=8, Diunduh pada 10 Maret 2017.
- Mendoza, JH., Ramirez, JF., Flore, HS. (2016). *Developing and evolution of industrial engineering and its paper in education*. *Ingeniería Y Competitividad*, Vol. 18, No. 2, pp. 89 – 100.
- 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.
- Nur Bahagia, Senator. (2007). *Pengantar Teknik Industri*. Bandung: Laboratorium Perencanaan dan Optimasi Sistem Industri program Studi Teknik Industri Institut Teknologi Bandung.
- Preez ND., Pintelon, L. (1994). *The Industrial Engineer: Caught Between Two Revolutions?*. *The South African Journal of Industrial Engineering*, Vol. 8, No. 2.
- Roser, C. (2015). *A Critical Look at Industry 4.0*. <http://www.allaboutlean.com/industry-4-0/>, Diakses pada 8 Maret 2017.
- Sackey, SM., Bester, A. (2016). *Industrial Engineering Curriculum in Industry 4.0 in A South African Context*. *South African Journal of Industrial Engineering*, Vol. 27, No. 4, pp. 101-114.
- Samir, O. (2002). *Philosophy of Science: A Very Short Introduction*. New York: Oxford University Press Inc.
- Schwab, K. (2015). *The Fourth Industrial Revolution: What It Means and How to Respond*. <https://www.foreignaffairs.com/articles/2015-12-12/fourth-industrial-revolution>, Diakses pada 10 Maret 2017.
- Sulistiyowati, R., Sutopo, W. (2015). *Peran Filsafat Ilmu Dalam Perkembangan Disiplin Keilmuan Teknik Industri*. *Prosiding Seminar Nasional IDEC 2015*.
- Wallen, J. (2008). *The history of the industrial robot*. <http://liu.diva-portal.org/smash/get/diva2:316930/FULLTEXT01.pdf>, Diunduh pada 25 Maret 2017.