

Peranan Keilmuan Teknik Industri dalam Perkembangan *Rapid Prototyping*

Andhy Rinanto^{1,2)}, Wahyudi Sutopo³⁾

¹⁾Mahasiswa Program Magister Teknik Industri, Universitas Sebelas Maret, Surakarta
Jalan Ir. Sutami 36A Ketingan Surakarta, 57126

²⁾Staf Pengajar Politeknik ATMI Surakarta, Program Studi Teknik Mesin Industri, Surakarta
Jalan Mojo No. 1 Kalurahan Karangasem Kec. Laweyan, 57145

³⁾ Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Surakarta, Jalan Ir. Sutami
36A Ketingan Surakarta, 57126

Email : andhy_rina@atmi.ac.id, wahyudisutopo@staff.uns.ac.id

ABSTRAK

Kompleksitas masalah di Industri, utamanya pengembangan produk makin hari kian berkembang. Salah satunya adalah perkembangan sistem *rapid prototyping*. Artikel ini ditulis untuk mengetahui peranan keilmuan teknik industri terhadap perkembangan teknologi *rapid prototyping*. Pada penulisan makalah ini menggunakan studi literatur untuk melihat peranan keilmuan teknik industri dalam perkembangan *rapid prototyping*. Berbagai makalah dan jurnal serta data dari Scopus dikumpulkan untuk melihat perkembangan keilmuan teknik industri dan *rapid prototyping* dari waktu-kewaktu dan dampaknya bagi manusia. Teknologi *rapid prototyping* selalu menyesuaikan dengan perkembangan keilmuan teknik industri pada setiap jaman perkembangannya. *Material science* di bidang *rapid prototyping* mengalami peningkatan yang signifikan dan masih akan terus berkembang dengan cara berintegrasi pada bidang yang lebih luas.

Kata kunci: *material science*, *rapid prototyping*, teknik industri

1. Pendahuluan

Dari awal diciptakannya mesin uap, membuat ilmu teknik industri semakin maju (Sulistiyowati, 2015). Kemajuan itu terlihat juga pada sistem *rapid prototyping*. Pertanyaannya adalah, apakah *rapid prototyping* dalam perkembangannya juga dipengaruhi oleh keilmuan teknik industri? Untuk mengetahuinya maka dibutuhkan pemahaman tentang apa itu keilmuan teknik industri, *rapid prototyping* dan bagaimana keduanya saling mempengaruhi perkembangannya.

Ada sejumlah penelitian yang sudah dilakukan tentang peranan filsafat ilmu dalam perkembangan keilmuan diantaranya (Nugraheni, 2016), (Sulistiyowati, 2015), tentang pengembangan produk diantaranya (Hubinger, 1999), (Kumar, 2016), dan membahas tentang pembuatan prototype diantaranya (Colombo dkk., 2006), (Ichida, 2016). Namun belum ada yang membahas tentang peranan keilmuan teknik industri dalam perkembangan *rapid prototyping*. Beberapa peneliti hanya melakukan penelitian tentang sejarah nya (Bourel, 2009), (Bartolo, 2011), dan menjelaskan ide dasar *rapid prototyping* itu muncul (Hubinger, 1999), (Kodama, 1981), akan tetapi belum menjelaskan keterkaitan dengan perkembangan pemikiran keilmuan teknik industri di setiap tahapnya. Perkembangan *Rapid prototyping* menunjukkan evolusi proses yang cukup drastis. Teknologinya dimanfaatkan di beberapa bidang diantaranya bidang kedokteran, otomotif, militer, dan seni (Beerling dkk., 1990).

Kajian ini dilakukan untuk mengetahui peranan keilmuan teknik industri dalam perkembangan *rapid prototyping*, dimana selanjutnya agar para insinyur teknik industri terdorong untuk mengembangkan dan mengintegrasikan teknologi *rapid prototyping* ke bidang yang lebih luas lagi demi kebaikan banyak manusia.

Makalah ini disusun sebagai berikut : Pada bagian 1 disajikan latar belakang disusunnya artikel. Pada bagian 2 disajikan metode penelitiannya. Bagian 3 tentang hasil dan kajian perkembangan keilmuan teknik industri, *rapid prototyping* dan kaitannya dengan perkembangan keilmuan teknik industri. Kesimpulan disajikan pada bagian 5.

2. Metode Penelitian

Berdasarkan latar belakang yang ingin melihat peranan keilmuan teknik industri dalam perkembangan *rapid prototyping*, maka metode yang digunakan dalam penulisan artikel ini adalah dengan :

- Pengumpulan literatur tentang perkembangan keilmuan teknik industri
- Pengumpulan literatur tentang perkembangan *rapid prototyping*
- Pengumpulan data dari portal Scopus (www.scopus.com)
- Menarik keterkaitan antara keilmuan teknik industri dan perkembangan *rapid prototyping*
- Membuat kesimpulan dari keterkaitan kedua bidang kajian

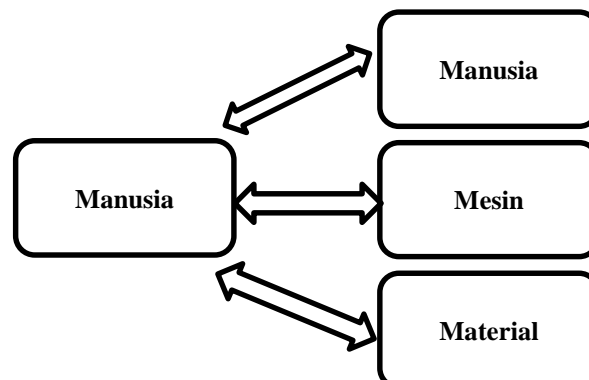
3. Hasil dan Kajian

Perkembangan Keilmuan Teknik Industri

Sejak ditemukannya mesin uap oleh James Watt, perkembangan industri mengalami titik puncaknya yaitu antara tahun 1750-1850 dan lazim disebut dengan Revolusi Industri. Sejak itu, perubahan besar-besaran terjadi pada sektor pertanian, pertambangan, manufaktur, transportasi, dan juga mempengaruhi secara sosial dan budaya pada masa itu. Revolusi industri menjadi awal perubahan terhadap semua segi kehidupan manusia, pertumbuhan penduduk dan juga pendapatan perkapita yang secara signifikan (Robert, 2002).

Keilmuan teknik industri muncul setelah ilmu teknik/kerekayasaan yang lain muncul. Hal ini dilatar belakangi adanya kebutuhan pengetahuan mengenai keekonomian dan manajemen pada ilmu kerekayasaan yang sudah lahir dan berkembang terlebih dahulu. Kemudian seiring perkembangannya, keilmuan industri memasukkan ilmu sosial terkhusus yang berkaitan dengan kemanusiaan dan ekonomi dalam ranah keilmuan dan metode perancangannya. Dengan masuknya kedua hal itu, membuat keilmuan Teknik Industri memiliki kekhususan jika dibanding dengan ilmu kerekayasaan yang lain, yaitu intergrasi antara ilmu kerekayasaan dan bidang ilmu sosial khususnya di bidang psikologi, manajemen dan ekonomi (Bahagia, 2007).

Manusia, Mesin, dan material menjadi komponen utama sistem integral obyek kajian Teknik Industri. Akan tetapi yang menjadi fokus kajian teknik industri hanyalah interaksi antara manusia dengan manusia, manusia dengan mesin dan manusia dengan material. Sedangkan interaksi antara mesin dan material tidak menjadi kajian teknik industri.



Gambar 1. Komponen utama Obyek Kajian Teknik Industri

Dari awal sejarah kelahiran Teknik Industri sampai pada saat ini, dan dilihat dari tren pemikiran yang terjadi, dapat dikelompokkan menjadi 5 fokus dalam keilmuan teknik industri yaitu Aliran Manajemen Ilmiah, Aliran Manajemen Klasik, era Aliran Sain Manajemen, era Aliran Sistemik Terintegrasi, dan Aliran Sistem Informasi dan Sistem Global.

Tabel 1. Perkembangan Fokus dan Kajian Teknik Industri (Bahagia, 2007)

<i>Focus</i>	<i>Scientific Management</i>	<i>Adm&Behavior Management</i>	<i>Management Science</i>	<i>Systemic & Integrated</i>	<i>Global & Information</i>
<i>Focus of Improvement</i>	<i>Method Improvement</i>	<i>Management Improvement</i>	<i>Optimal Solution</i>	<i>Effective Decision</i>	<i>Autonomous desision & equilibrium</i>
<i>Main Aspect of integrated system</i>	<i>Interaction Man-Machine-Material</i>	<i>Human Interaction</i>	<i>Quantitative Aspect</i>	<i>Holistic Aspect</i>	<i>Information</i>
<i>Component of Integrated System</i>	<i>Man-Machine-Material</i>	<i>Man-Machine-Material</i>	<i>Man-Machine-Material</i>	<i>+ Environment</i>	<i>+ Network</i>
<i>Basic Principle</i>	<i>Principle of Scientific Management</i>	<i>Principle of Management</i>	<i>Optimization</i>	<i>System Thinking & Modeling</i>	<i>Information Technology</i>
<i>Main Tool</i>	<i>OPC</i>	<i>POEC</i>	<i>OR</i>	<i>SPK</i>	<i>Multi Agent</i>
<i>Solusi</i>	<i>Better</i>	<i>Better</i>	<i>Optimal-Local</i>	<i>Best-Global Optimal</i>	<i>Best</i>
<i>Management Level</i>	<i>Operational</i>	<i>Managerial</i>	<i>Operational & Tactical</i>	<i>Top & Strategic</i>	<i>Global & Strategic</i>

Masing masing dari tiap fokus memiliki karakteristik dan ciri penanda sebagai wujud perkembangan kebutuhan dan metode berfikir manusia setiap jamannya. Perubahan pola pikir juga mempengaruhi kebutuhan manusia, yang akhirnya memunculkan kerekayasaan (*engineering*). Secara sistem, ilmu (*science*) ada terlebih dahulu mendasari berkembangnya kerekayasaan. Ketiga disiplin ini (ilmu, kerekayasaan, dan teknik industri) bersinergi dan memicu penemuan-penemuan baru dalam satu disiplin ilmu, dimana dengan perkembangan tersebut akan mempengaruhi perkembangan disiplin yang lain dan pada akhirnya kembali mengembangkan disiplin itu sendiri (Bahagia, 2007).

Melihat perkembangan keilmuan teknik industri dalam lingkup teknologi *rapid prototyping* dan dampaknya bagi manusia melalui sistem dan upayanya dalam mewujudkan kondisi yang lebih baik, hal ini tidak lepas dari 3 landasan filosofis ilmu pengetahuan yaitu : 1. Landasan Ontologis mengenai apa yang dikaji oleh ilmu, 2. Landasan Epistemologis yang menjelaskan bagaimana metode perolehan ilmu itu didapatkan, dan yang ke 3. Landasan Aksiologis yang menjelaskan bagaimana ilmu itu dimanfaatkan (Soeprapto, 1996).

Tabel 2. Uraian pertanyaan terkait *rapid prototyping* dari landasan ilmu

Landasan	Rapid Prototyping
Ontologi	Apa yang bisa dikembangkan lagi? Diintegrasikan dengan bidang apa? Dengan bahan apa?

Epistemologi	Bagaimana mensinergikan dengan bidang lain? Bagaimana bisa memenuhi kriteria bidang tertentu?
Aksiologi	Untuk apa saja? Untuk siapa saja? Dampaknya bagi manusia? Dampaknya bagi lingkungan?

Soebroto (2009), menyampaikan disiplin keilmuan teknik industri banyak mengalami perubahan maupun menyesuaikan dengan arah perkembangan yang ada untuk mengantisipasi problematika industri yang makin luas dan kompleks. Sedangkan Sulistiyowati (2015), menyampaikan bahwa filsafat ilmu memiliki kontribusi terhadap keilmuan teknik industri melalui ide-ide baru untuk kebaikan umat manusia.

Rapid Prototyping dan kaitannya dengan perkembangan keilmuan teknik industri

Rapid Prototyping

Prototyping adalah usaha untuk mewujudkan sebuah ide atau gagasan dalam bentuk yang nyata atau real. *Prototype* sering digunakan untuk media presentasi atau menemukan gambaran utuh dari sebuah produk sebelum diproduksi dalam jumlah banyak. Christie (2012) menyampaikan bahwa *prototyping* adalah instansiasi konsep dasar sebagai langkah selanjutnya dalam pengembangan produk.

Sedangkan *rapid prototyping* sendiri adalah sebuah sistem kerja pembuatan *prototype*/model dengan sistem integrasi antara sistem CAD dan mesin *rapid prototyping*. Bourell (2013) menjelaskan definisi dari *rapid prototyping* sebagai berikut “*Process of joining materials to make objects from 3D model data, usually layer upon layer, as opposed to subtractive manufacturing methodologies*”.

Rapid prototyping saat ini sudah banyak digunakan dalam berbagai sendi kehidupan manusia. Seperti integrasi dalam keilmuan teknik industri, dengan berkembangnya *rapid prototyping* juga membawa dampak perkembangan keilmuan yang lain. Sektor yang sudah memanfaatkan teknologi RP ini diantaranya kedokteran (rehabilitasi), militer, alat bantu teknologi, produk konsumtif, produk seni, otomotif (Bourell, 2009).

Sejarah perkembangan Rapid Prototyping

Bourell dkk (2009) telah melakukan sebuah penelusuran sejarah perkembangan teknologi *rapid prototyping*. Penelusuran tersebut dilakukan dari 40 tahun kebelakang (dihitung dari tahun 2009), dan mereka menyajikan dalam bagan yang ditunjukkan pada gambar 2.

Dari gambar 2. dapat dilihat bahwa perkembangan konsep *rapid prototyping* terus berlanjut bahkan sampai sekarang dan masih terus disempurnakan. Pengembangan produk dan *rapid prototyping* yang menjadi fokus penulisan ini jika dilihat tahun mulai dikembangkannya berada di kisaran tahun 1980-2000an. Sedangkan menurut Bahagia (2007), tahap management science dimulai pada awal abad 20 (tahun 2000) dimana fokus pengembangan dalam tahapan ini adalah pada memberikan solusi yang optimal. Teknologi *Rapid Prototyping* memberikan jawaban atas kendala yang dialami pada tahap sebelumnya. *Rapid prototyping* berpengaruh pada optimasi desain produk, optimasi proses, dan desain *tooling*, dan pengembangan material (Mahindru, 2013).

TOPOGRAPHY		PHOTOSCULPTURE	
Blanthier patent filed	1890	1860	Willeme photosculpture
Perera patent filed	1937	1902	Baese patent filed
Zang patent filed	1962	1922	Monteah patent filed
Gaskin patent filed	1971	1933	Morioka patent filed
Matsubara patent filed	1972	1940	Morioka patent filed
DiMatteo patent filed	1974	1951	Munz patent filed
Nakagawa laminated tool fabrication	1979		
		1968	Swainson patent filed
		1972	Ciraud patent filed
		1979	Housholder patent filed
		1981	Kodama patent filed
		1982	Herbert patent filed
		1984	Maruntani patent filed, Masters patent filed, Andre patent filed, Hull patent filed
		1985	Helysis founded, Denken venture started
		1986	Pomerantz patent filed, Feygin patent filed, Deckard patent filed, 3D founded, Light Sculpting started
		1987	Fudim patent filed, Arcella patent filed, Cubital Founded, DTM founded, Dupont Somos venture started
		1988	First shipment by 3D, CMET founded, Stratasys founded
		1989	Crump patent filed, Helsinki patent filed, Marcus patent filed, Sachs patent filed, EOS founded, BPM Tech. founded
		1990	Levant patent filed, Quadrax founded, DMEC founded
		1991	Teijin Seiki venture started, Foeckele & Schwartz founded, Soligen founded, Meiko founded, Mitsui venture started
		1992	Penn patent filed, Quadrax acquired by 3D, Kira venture started, Laser 3D founded, First shipment by DTM
		1994	Sanders Prototyping started
		1995	Aaroflex venture started
		1997	AeroMet formed, Optomec restarted, ZCorp started
		1998	Objet founded, Keicher patent filed
		1999	PDM founded, BPM closed
		2000	Helisys closed, Solidica started
		2001	3D and DTM merge

Gambar 2. Perkembangan konsep *Rapid Prototyping* (Bourell, 2009)

Tabel 3. Perkembangan metode *Rapid Prototyping*

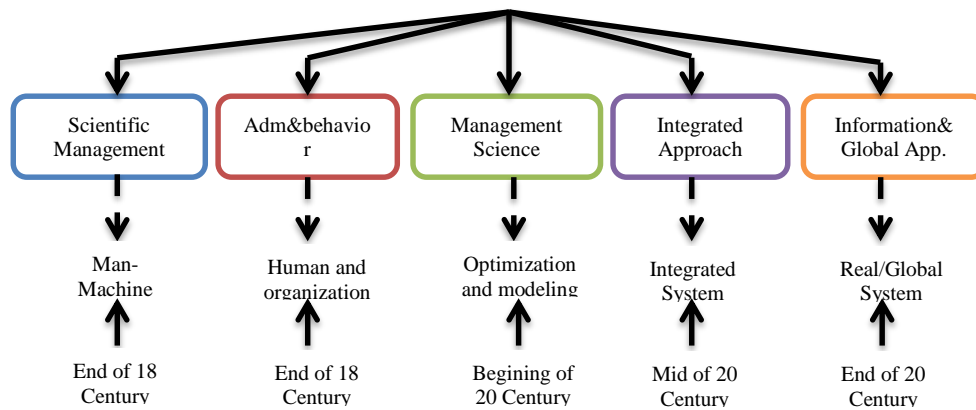
	1981	1984	1986	1986	1989	1991	1993
Tokoh / Pengembang	Hideo Kodama	Charles (Chuck) Hull	Carl Deckard (University Of Texas)	Cubital Ltd.	Helisys, Inc	Stratasys	Massachusetts Institute of Technology (MIT)
Negara	Jepang	Amerika	Amerika	Israel	Amerika	Amerika	Amerika
Teknologi	photo hardening polymer	Stereo Lithography (SLA)	Selective Laser Sintering (SLS)	Solid Ground Curing	Laminated Object Manufacturing	Fused Deposit Modelling	3D- Inkjet Printing
Metode	Menyinari polimer cair dengan sinar ultraviolet dan menyusun lapisan-lapisan bagian yang dipadatkan	Menggunakan sinar ultraviolet yang membekukan permukaan photopolymer dengan petunjuk format STL. Proses berlanjut lapisan demi lapisan hingga part terbentuk	Menggunakan bahan yang berbentuk serbuk. Serbuk diendapkan berupa lapisan-lapisan tipis dan dipanaskan dibawah titik lelehnya. Kemudian disinter bersama - sama hingga terbentuk part	Menggunakan CAD untuk perhitungan ketebalan lapisan. Material resin cair disemprotkan per lapisan mulai dari bawah dan dipadatkan dengan sinar ultraviolet sampai terbentuk part yang dibuat.	Material berbentuk lembaran seperti kertas dan disusun. Kemudian laser memotong bagian yang tidak terpakai	menggunakan material berupa filamen termoplastik. Material dipanaskan melalui nozzle yang dipanaskan, seperti proses ekstrusi dan bergerak sesuai koordinat part yang dibentuk	Teknik ini berbeda dengan teknik lain yang masih mengandalkan proses lain (bor/pemotongan). Proses ini langsung bisa membentuk model yang terbentuk dari file STL.
Luaran	Publikasi, Paten	Paten	Paten	Paten, Mesin	Paten, Mesin	Paten, Mesin	Paten, Mesin



Metode yang dianggap sebagai ide dasar Rapid Prototyping	Metode-metode baru yang dikembangkan dari Tulisan Hideo Kodama, yang digunakan dalam mesin-mesin Rapid Prototyping
---	---

Peran keilmuan teknik industri bagi perkembangan *rapid prototyping*

Perkembangan disiplin ilmu akan mempengaruhi perkembangan disiplin ilmu yang lain. Begitu pula dalam keilmuan teknik industri yang terus berkembang sejak adanya revolusi industri di Inggris. Dengan terus meningkatnya kebutuhan, maka juga akan menjadi tonggak perubahan konsentrasi dalam sejarah. Bahagia (2007) memberikan gambaran perubahan konsentrasi atau tren setiap abad perkembangan “Revolusi Industri” yang terus menunjukkan perubahan melalui sebuah gambar sebagai berikut :

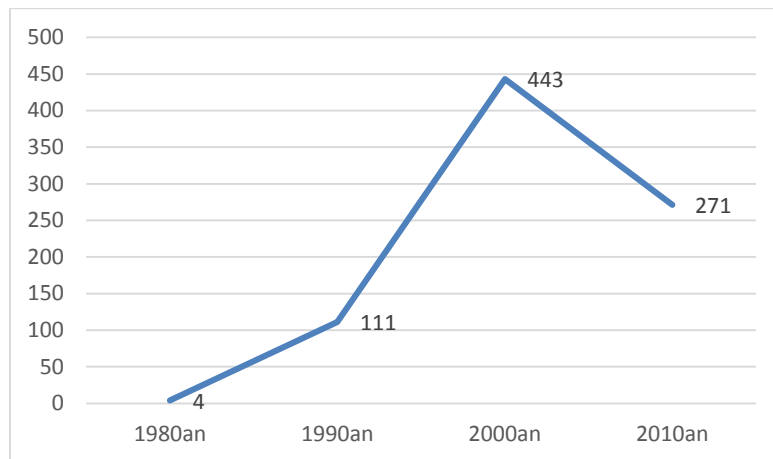


Gambar 3. Perkembangan Aliran Berfikir Teknik Industri

Merunut perkembangan aliran berfikir teknik industri yang ditunjukkan pada gambar 3., khususnya pada era *Management Science* yang dimulai pada abad ke-20 (tahun 2000) dan berdasarkan perkembangan sistem *rapid prototyping* yang ditunjukkan pada gambar 2. dapat dilihat sebuah garis yang tegas bahwa perubahan pemikiran yang menitik beratkan pada optimalisasi dan modeling juga dibarengi dengan mulai berkembangnya konsep sistem *rapid prototyping*. Perkembangan itupun sampai sekarang masih terjadi dan terus melakukan integrasi dengan berbagai bidang (Ichida, 2016).

Menurut Pratiwi (2015), ada 4 bidang *body of knowledge* keilmuan teknik industri yang terdiri dari *Manufacturing Sistem Engineering*, *Human Factor Engineering*, *Management System*, dan *Operation Research*. Dimana dari ke empat bidang tersebut masih berkembang lagi menjadi bidang riset yang lain diantaranya *material science*, *operation research*, *ergonomics*, *mechanics*, desain produk, *supply chain*, statistika industri, *quality*, *finance*, logistik, sistem informasi, *inventory*, *environmental*, dan energi.

Penelitian di bidang *rapid prototyping* berdasarkan artikel di portal Scopus yang berkaitan dengan keilmuan teknik industri hanyalah *material science*, *energy* dan *environmental*. Dari jumlah artikel, *material science* menempati urutan terbanyak yaitu 801 artikel, bidang *energy* 7 artikel, dan *environment* hanya 3 artikel. Perkembangan pada *material science* terlihat sangat pesat tidak saja dari segi jumlah tapi perkembangan tiap dekadenya. Pada gambar 4. terlihat penambahan sangat pesat pada jumlah penelitian *material science* bidang *rapid prototyping* yang pada tahun 1980an hanya ada 4 penelitian kemudian bertambah menjadi 111 penelitian di tahun 1990an dan pada tahun 2000an menjadi 443 penelitian dan tentunya akan terus bertambah lagi periode tahun 2010an saat ini, mengingat sampai bulan April 2017 ini sudah ada 271 penelitian.



Gambar 4. Jumlah penelitian bidang *rapid prototyping* dengan subject area *material science* (Scopus)

Dampak perkembangan *rapid prototyping* bagi keilmuan teknik industri

Konsep mesin dengan prinsip *rapid prototyping* mulai dikenal sejak ilmuwan Jepang bernama Hideo Kodama, seorang peneliti dari Nagoya Jepang mempelajari dan mempublikasikan teknik mencetak model solid (Kodama, 1981). Dan sampai saat ini, mesin dengan konsep *rapid prototyping* sudah banyak digunakan untuk kepentingan manusia diantaranya untuk kebutuhan penelitian, militer, pendidikan, permesinan, otomotif (Ichida, 2016). Paling tidak akan ada perkembangan lebih besar lagi dalam hal material, desain dan proses manufaktur. Perkembangan yang terintegrasi dengan *rapid prototyping* saat ini juga disampaikan oleh beberapa peneliti di bidangnya masing-masing, misalnya Colombo (2006) dan Kasyanov (2014) menyampaikan bahwa organ printing dan 3D Bioprinting telah menjadi paradigma baru dalam penelitian dan sangat membantu dalam pembuatan cetakan secara sempurna. Sedangkan Christie (2012) menyatakan bahwa bisnis menggunakan *prototype* untuk hasil yang maksimal dalam hal estetika, ergonomi, pemasaran dan analisis biaya. Perkembangan *rapid prototyping* seperti yang disampaikan Bingheng Lu mengutip pernyataan Wohlers (2013), saat ini sudah pada taraf penggunaan berbagai macam jenis material, dari plastic, metal, kayu, keramik, magnetic material dan fiber elektrik. Sedangkan Purjan dan Petrosanu (2014) menyimpulkan bahwa pentingnya teknologi *rapid prototyping* secara signifikan mempengaruhi kehidupan manusia, ekonomi dan masyarakat modern. Dan dalam hal desain Gibson (2015) menyatakan bahwa dengan *rapid prototyping*, proses desain tidak lagi harus memikirkan bagaimana produk itu diproduksi. Proses desain semakin *flexible* dan mendalam serta fokusnya lebih besar ke fungsi.

4. Kesimpulan

Keilmuan teknik industri berperan dalam perkembangan sistem *rapid prototyping* melalui perubahannya yang selalu menyesuaikan perkembangan jaman dan kemanfaatannya di bidang yang lebih luas. Dari era sebelum management science *rapid prototyping* mulai dikembangkan, dan sampai pada era management science dimana optimasi menjadi konsentrasinya, *rapid prototyping* mengambil bagian dari tren optimasi tersebut. Dan sejak era pemikiran berubah ke arah sistem yang terintegrasi, *rapid prototyping* juga mengambil peran dalam integrasi dengan banyak bidang seperti otomotif, militer, seni, bisnis, dan kedokteran.

Perkembangan dalam *material science* bidang *rapid prototyping* mengalami peningkatan yang signifikan setiap dekadanya. Tantangan yang lebih besar lagi dalam perkembangan *rapid prototyping* adalah pengembangan kearah integrasi dengan unsur manusia secara langsung misalnya untuk pembuatan organ tubuh. Dimana dari hal itu, akan muncul juga penelitian tentang material yang ramah lingkungan dan diterima tubuh manusia.

Daftar Pustaka

- Bahagia, Senator Nur, *Pengantar Teknik Industri*, Bandung: Laboratorium Perencanaan dan Optimasi Sistem Industri program Studi Teknik Industri Institut Teknologi Bandung. 2007.
- Bartolo, Paulo J., and Gibson, Ian, *History of Stereolithographic Processes*, Springer Science+Business Media, LLC 2011.
- Beerling, Kwe, Peursen, M.V, *Pengantar Filsafat Ilmu*, Yogyakarta, Tiara Wacana Yogya, Cetakan ke-3, 1990, Terjemahan Drs. Soejono Soemargono.
- Bourell, Dave, *Additive Manufacturing History, Current Applications and Where We are Headed*, SimTech 20th Anniversary Celebration, Singapore, October 23, 2013.
- Bourell, David L., Beaman, J.J., Jr., Leu, M.C. and Rosen, D.W., *A Brief History of Additive Manufacturing and the 2009 Roadmap for Additive Manufacturing: Looking Back and Looking Ahead*, US – TURKEY Workshop On Rapid Technologies, September 24 – 24, 2009.
- Christie, Edward J., and friends, *Prototyping Strategies : Literature Review and Identification of Critical*, American Society for Engineering Education, 2012.
- Colombo, G., Bertetti, M., Bonacini, D., Magrassi G., *Reverse Engineering and Rapid Prototyping Techniques to Innovate Prosthesis Socket Design*, Proc. of SPIE-IS&T Electronic Imaging, SPIE Vol. 6056, 60560P, 2006.
- Gibson et al., *Additive Manufacturing Technologies*, Springer Science+Business Media New York, 2015.
- Hubinger, Alexandre Z., *Rapid Prototyping-Concepts, Techniques, Applications And Future Trends*, 15th Brazzilian Congress of Mechanical Engineering, 1999.
- Ichida, Yozi, *Current Status of 3D Printer Use among Automotive Suppliers: Can 3D Printed-parts Replace Cast Parts?*, IFEAMA SPSCP Vol.5 pp.69-82, 2016.
- Kasyanov, Vladimir, *Organ Printing : Pas, Present and Future*, Proc. of the Intl. Conf. on Progress in Additive Manufacturing, 2014.
- Kodama, H., *Automatic Method for Fabricating a Three-Dimensional Plastic Model With Photo-Hardening Polymer*, Review of Scientific Instruments 52, 1770 (1981); doi: 10.1063/1.1136492, AIP Publishing, 1981.
- Kumar, Lalit, *Rapid Prototyping Technology for New Product Development*, IJISSET - International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology, Vol. 3 Issue 1, January 2016.
- Lu, Bingheng, Li, Dichen, Tian, Xiaoyong, *Development Trends in Additive Manufacturing and 3D Printing*, Engineering 2015, 1(1): 85–89 DOI 10.15302/J-ENG-2015012, 2015.
- Mahindru, D.V. & Mahendru, P., *Review of Rapid Prototyping-Technology for the Future*, Global Journal of Computer Science and Technology, 2013.
- Nugraheni, D.D., Sutopo, W., *Filsafat Ilmu dalam Perkembangan Ilmu Manajemen Rantai Pasok*, Jurnal Metris, (ISSN =1411-3287); Vol 17, No 1, 2016, pp. 1-5.

- Pîrjan, Alexandru & Petroşanu, Dana-Mihaela, *The Impact Of 3D Printing Technology On The Society and Econom*, 1996.
- Pratiwi, Ayu, Mahardika, F.A., Sutopo, W., *Tren Keilmuan Teknik Industri oleh Praktisi Teknik Industri Dunia*, Seminar Nasional IDEC 2015, ISBN : 978-602-70259-3-6, Surakarta, 9 September 2015.
- Robert, L.E., Jr., *Lectures on Economic Growth*, Cambridge: Harvard University Press, 2002
- Soebroto, Sritomo W., *INDUSTRIAL ENGINEERING ROADMAP : Dari Studi Kerja Manusia ke Optimasi Sistem Industri*, Disampaikan dalam acara Workshop BKSTI “Pengajaran Pengantar Teknik Industri : Pendekatan Competence – Based Learning & Student Centered Learning”, Kamis 20 Agustus 2009 di Novotel, Surabaya.
- Sulistiyowati, Rina dan Sutopo, W., *Peran Filsafat Ilmu Dalam Perkembangan Disiplin Keilmuan Teknik Industri*, Prosidings Industrial Engineering Conference (IDEC) 2015, ISBN: 978-602-70259-3-6, pp. 1-5, Surakarta, 9 September 2015.
- Suprarto, Sri dan Tim Dosen Filsafat Ilmu Fakultas Filsafat UGM, *Filsafat Ilmu*, Bab III : Landasan Penelaahan Ilmu, Liberty, Yogyakarta, 1996.