

FRAMEWORK PREDIKSI PENGGUNAAN 3D PRINTING DI INDONESIA PADA TAHUN 2030

Ismianti, Herianto

Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada
Jl. Grafika No. 2, Yogyakarta 55281
Email: ismianti.ismianti@gmail.com

Abstrak

Additive manufacturing atau yang lebih dikenal dengan *3D printing* merupakan teknologi yang saat ini berkembang dengan pesat di berbagai negara. Teknologi ini semakin memiliki peranan penting tidak hanya dalam bisnis tapi juga kehidupan sehari-hari. Perkembangan *3D printing* yang semakin pesat membuat penggunaannya juga semakin luas. Penggunaan *3D printing* ini berbeda-beda di setiap negara tergantung dari perkembangan *3D printing* di negara tersebut dan kebutuhan lokal dari negara tersebut. Investasi *3D printing* yang cukup besar membuat pelaku usaha harus tepat dalam memilih bisnis *3D printing* yang sesuai. Oleh karena itu, dibutuhkan penelitian mengenai prediksi penggunaan *3D printing* di Indonesia ke depan. Penelitian ini menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process (AHP)* untuk mengetahui prioritas yang dipilih oleh responden dalam memprediksi penggunaan *3D printing* ke depan. Penelitian akan melibatkan responden berbagai bidang baik manufaktur, kesehatan, industri, dan sosial. Dari penilaian responden akan diperoleh urutan prediksi penggunaan *3D printing* ke depan. Gambaran prediksi ini akan bermanfaat bagi pelaku usaha, akademisi, maupun pemerintah.

Kata kunci : *3D printing*, *additive manufacturing*, *AHP*, penggunaan, prediksi

1. PENDAHULUAN

Teknologi *additive manufacturing (AM)* saat ini sedang berkembang dengan pesat di berbagai belahan dunia. *Additive manufacturing* atau yang sehari-hari biasa disebut dengan *3D printing* semakin memiliki peranan penting tidak hanya di berbagai bidang bisnis tetapi juga dalam kehidupan sehari-hari konsumen (Rayna dan Striukova, 2016). *Additive manufacturing* secara fundamental berpengaruh pada berbagai proses dalam produksi, desain rantai pasok, logistik, perencanaan *product life-cycle*, dan juga perilaku konsumen (Rayna dan Striukova, 2016). Penjualan dari AM ini juga terus meningkat dari tahun ke tahun.

Berbagai negara seperti Amerika Serikat, New Zealand, Australia, Inggris, Jerman, Singapura dan China menginvestasikan nilai yang sangat besar untuk pengembangan *additive manufacturing* (Kianian et al., 2016). Di negara-negara tersebut *additive manufacturing* berkembang pesat untuk berbagai produksi. Namun, penggunaan dari *additive manufacturing* di setiap negara bisa berbeda. Misalnya di Swedia, penggunaan AM pada sektor manufaktur masih kalah dibandingkan dengan negara sebelahnya yaitu Jerman, tetapi di Swedia penggunaan AM pada sektor UKM justru sangat meningkat (Kianian et al., 2016). Penggunaan AM di setiap negara bisa berbeda-beda tergantung dari perkembangan *additive manufacturing* di negara tersebut dan juga tergantung dari kebutuhan lokal dari negara tersebut (Gebler et al., 2014). Wohlers Report tahun 2013, memprediksi bahwa pasar *3D printing* akan terus mengalami kenaikan termasuk di Indonesia (Kusuma, 2016). Penelitian penggunaan AM ini masih terus berkembang di berbagai negara. Penelitian yang lebih banyak lagi mengenai penggunaan AM dan dampak dari penggunaan ini masih terus dibutuhkan untuk pengembangan ke depan (Huang et al., 2013 dalam Khajavi et al., 2014).

3D printing disebut sebagai *disruptive technology* (Petrick et al., 2013). Teknologi ini diprediksi akan mengubah banyak hal dalam bisnis dan kehidupan sehari-hari. Melalui teknologi ini pengguna bisa membuat barang dengan desain sesuai dengan keinginan mereka. The Royal Academy of Engineering (2013) menyatakan bahwa AM tidak hanya teknologi yang mengubah dari proses manufaktur konvensional, tetapi teknologi ini juga memungkinkan terbentuknya model bisnis baru, produk baru dan rantai pasok baru bertambah maju. Namun, di samping peluang besar dari perkembangan teknologi ini, masih ada ketidakpastian dan spekulasi teknologi ini ke depannya (Jiang et al., 2017). Ketidakpastian ini bisa berasal dari banyak hal seperti adanya perkembangan teknologi baru, perubahan permintaan pengguna, kebijakan pemerintah, perubahan kondisi ekonomi

dan lain sebagainya. Penelitian mengenai prediksi teknologi ini pun masih jarang dilakukan. Penelitian yang sudah ada adalah prediksi teknologi AM pada tahun 2030 tetapi dengan responden para ahli di negara-negara Eropa dan Afrika Selatan. Dibutuhkan penelitian lebih lanjut mengenai prediksi teknologi AM ini ke depannya di negara-negara Asia (Jiang et al., 2017).

Penelitian ini ingin mencoba melihat seberapa luas penggunaan teknologi AM atau *3D printing* di Indonesia saat ini dan prediksi penggunaan teknologi ini ke depannya. Dengan penelitian ini diharapkan dapat dilihat sejauh mana saat ini teknologi *3D printing* dipakai di Indonesia dan prediksi penggunaan di bidang apa yang nantinya akan berpotensi optimal di Indonesia dengan karakter lokal masyarakat Indonesia.

2. METODOLOGI

Penelitian ini akan menggunakan studi literatur, wawancara, dan kuesioner dalam pencarian data. Subjek penelitian ini dari berbagai bidang profesi seperti *expert* dalam *3D printing*, akademisi, pengusaha, pemerintah, pelaku industri, dan masyarakat pengguna *3D printing*. Penelitian ini akan menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) untuk menentukan tingkat prioritas dari prediksi masing-masing responden. Untuk membangun framework pada struktur AHP digunakan studi literatur dan kuesioner. Gambar 1 berikut merupakan desain dan alur dalam penelitian ini.



Gambar 1. Desain dan alur penelitian

Berikut adalah penjelasan mengenai desain dan alur penelitian.

1. Pengumpulan faktor dan subfaktor
Pengumpulan faktor dan subfaktor dari penggunaan *3D printing* di Indonesia ke depannya adalah dengan studi literatur dan kuesioner. Penggunaan *3D printing* yang digunakan sebagai faktor dan subfaktor adalah dari penggunaan *3D printing* di seluruh dunia. Penggunaan-penggunaan *3D printing* ini kemudian dikelompokkan sesuai sektornya.
2. Pembangunan Framework Struktur AHP
Penggunaan *3D printing* yang sudah dikelompokkan kemudian dibuat ke dalam framework struktur AHP.
3. Pengambilan Data
Dari struktur AHP yang telah dibuat kemudian setiap faktor dibandingkan dan setiap subfaktor dari masing-masing faktor juga dibandingkan. Pengambilan data dilakukan dengan wawancara *expert* dari berbagai bidang.
4. Pengolahan data dan pembobotan
Data hasil perbandingan dari setiap responden kemudian diolah untuk dijadikan bobot masing-masing faktor dan subfaktor.
5. Preferensi
Dari hasil pembobotan kemudian didapatkan urutan prediksi penggunaan *3D printing* ke depan. Nilai total bobot terbesar adalah prediksi terbesar penggunaan *3D printing* di Indonesia ke depan.

Pada paper ini yang akan disajikan adalah struktur AHP hasil dari studi literatur dan kuesioner. Struktur AHP yang disajikan dalam penelitian masih berupa framework yang belum disertai dengan bobot.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 3D Printing

3D printing adalah salah satu bentuk dari *additive manufacturing* dimana sebuah objek tiga dimensi dibentuk dengan menambahkan material layer demi layer (Rayna dan Striukova, 2016). Langkah awal dari *3D printing* adalah membuat model digital dari objek yang akan dicetak. Pembuatan model digital ini biasanya menggunakan software *Computer-Assisted Design (CAD)* atau menggunakan pelayanan online yang telah disediakan dari *platform 3D printing*. *3D scanner* juga dapat digunakan secara otomatis untuk membuat model dari objek eksis (seperti *2D scanner*). Di samping *3D scanner* yang harganya masih tergolong mahal (\$949), aplikasi *smartphone* juga dapat digunakan untuk membuat model 3D seperti Autodesk 123D Catch (Rayna dan Striukova, 2016).

3D printing bisa menggunakan berbagai macam material baik *liquid*, *solid*, maupun *powder*. Beberapa proses yang umum diterapkan dalam teknologi *3D printing* adalah *Stereolithography (SLA)*, *Selective Laser Sintering (SLS)*, *Digital Light Processing (DLP)*, *Fused Deposition Modelling (FDM)*, *Selective Laser Melting (SLM)*, dan *Electron Beam Melting* (Gebler et al., 2014). Saat ini, material yang umum digunakan untuk *3D printing* adalah plastik (ABS, PLA, Nylon), campuran logam, keramik, partikel kayu, garam, gula dan bahkan coklat juga digunakan untuk mencetak.

3D printing memiliki keuntungan dan potensi yang besar. Dengan *3D printing* ini bisa dibuat berbagai macam barang dengan bentuk geometri bebas dan kompleks tanpa kendala keterbatasan proses manufaktur (Reeves, 2008 dalam Gebler, 2014). Penggunaan *3D printing* mencakup berbagai bidang dan terus menerus berkembang. Penggunaan *3D printing* saat ini diantaranya untuk *mould*, *part*, *tool*, kesehatan (gigi dan organ), makanan (Godoi et al., 2016), seni (Balleti et al., 2017), *prototype* (Berman, 2012), pakaian, *furniture*, instrumen musik, mainan maupun mencetak *3D printer* yang lain.

Di awal kemunculannya *3D printing* didedikasikan untuk proses manufaktur, tetapi semakin berkembangnya teknologi ini penggunaannya pun semakin luas. Saat ini *3D printing* banyak digunakan oleh UKM (Usaha Kecil dan Menengah) maupun individu. Harga *3D printing* pun semakin murah sehingga bisa semakin menjangkau berbagai kalangan. Tabel 1. berikut menjelaskan perkembangan *3D printing* dari awal kemunculannya hingga sekarang.

Tabel 1. Perkembangan 3D printing di dunia

Tahun	Perkembangan
1980	Paten pertama Rapid Prototyping oleh Dr. Kodama
1986	Paten SLA (stereolithography) pertama oleh Charles Hull
1987	Kemunculan mesin SLA-1
1988	Paten SLS technology oleh University of Texas, Carl Deckard
1990	Kemunculan EOS Stereos system (Teknologi SLS untuk plastik dan metal)
1992	Paten FDM (Fused Deposition Modeling)
1993	Penemuan solidscape
1999	Penggunaan <i>3D printing</i> dalam bidang kesehatan
2000	Pembuatan 3D print ginjal
2000	Pengenalan SLM technology
2005	Peluncuran Spectrum Z510, <i>3D printing</i> pertama di pasaran dengan high definition color
2006	Proyek open source dimulai
2008	Kaki palsu buatan 3D pertama
2009	Paten FDM dalam domain publik
2010	Pameran mobil prototype 3D pertama (Urbee)
2011	Cornell University mulai membuat <i>3D food printer</i>

2012	Rahang prostetik pertama dicetak dan ditanamkan
2013	Peneliti China mulai mencetak telinga, hati, ginjal dengan <i>living cells</i> dan sedang mengembangkan agar bisa mencetak organ yang berfungsi pada sekitar 10-20 tahun ke depan
2016	Lab Daniel Kelly bisa mencetak tulang 3D

Saat ini *3D printing* digunakan dalam berbagai bidang. Kemajuannya yang sangat pesat membuat teknologi ini semakin luas penggunaannya.

3.2 Prediksi Teknologi

Beberapa dekade terakhir, teknologi berkembang dengan sangat pesat. Investasi dalam bidang teknologi membutuhkan keuangan dan sumber daya yang cukup besar sehingga dibutuhkan prediksi yang tepat dalam memilih teknologi. Dari sinilah kemudian berkembang berbagai teknik prediksi teknologi (*technology forecasting*) (Lee et al., 2014).

Menurut Porter (2004) ada berbagai metode dalam memprediksi teknologi atau dalam tulisannya, prediksi teknologi ini disebut sebagai *Technology Future Analysis (TFA)*. Salah satu metode yang bisa digunakan untuk memprediksi teknologi ini adalah AHP. Dalam bidang *3D printing* sendiri metode yang sudah pernah digunakan dalam prediksi teknologi adalah metode Delphi dengan responden *expert* dari negara-negara Eropa dan Afrika Selatan (Jiang et al., 2017). Metode dan bidang lain misalnya AHP pernah digunakan untuk prediksi prioritas IT (Lee et al., 2014), AHP digabungkan dengan Delphi pernah digunakan untuk prediksi pemilihan *e-marketplace* (Büyükköçkan, 2004).

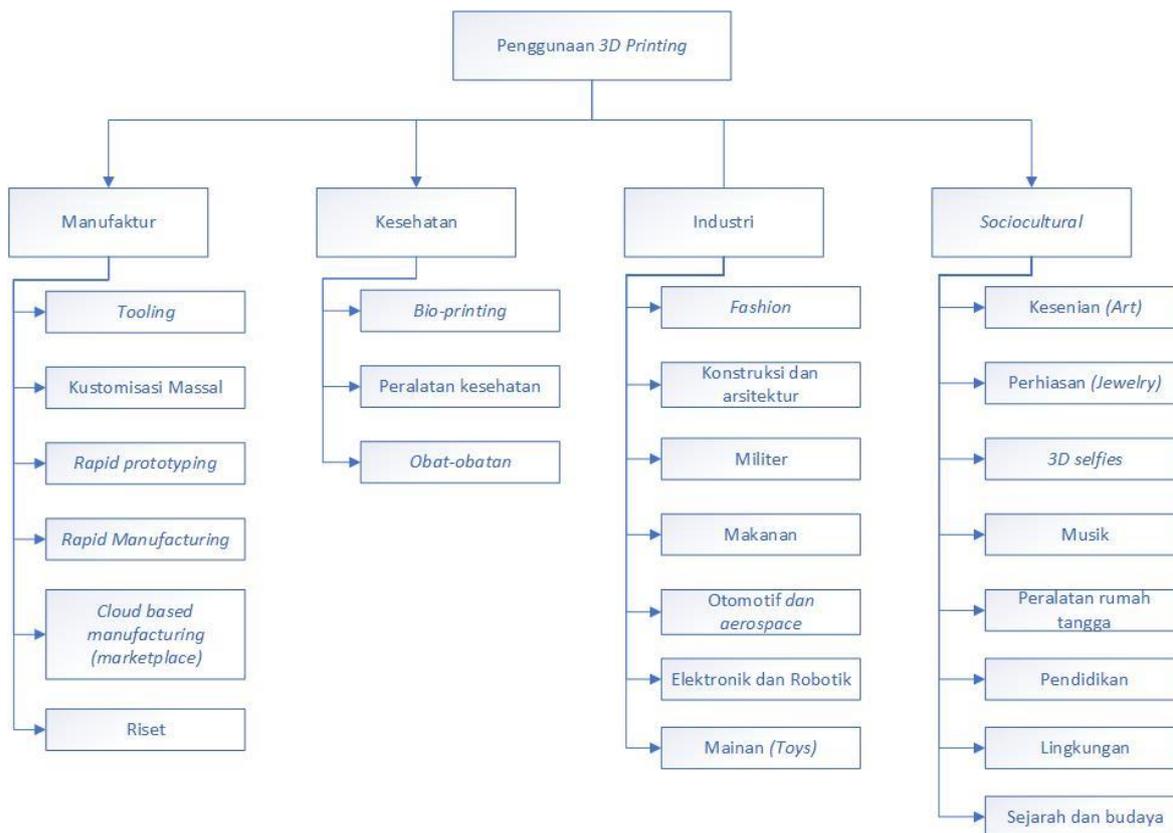
3.3 Analytical Hierarchy Process (AHP)

AHP merupakan sebuah pendekatan dasar untuk pengambilan keputusan. Metode ini didesain untuk mengatasi masalah pemikiran rasional dan intuitif dalam memilih yang terbaik dari beberapa alternatif multikriteria yang dievaluasi. Model pendukung keputusan ini akan menguraikan masalah multi faktor atau multi kriteria yang kompleks menjadi suatu hierarki. Hierarki didefinisikan sebagai suatu representasi dari sebuah permasalahan yang kompleks dalam suatu struktur multi level dimana level pertama adalah tujuan, yang diikuti level faktor, kriteria, sub kriteria, dan seterusnya ke bawah hingga level terakhir dari alternatif. Dengan hierarki, suatu masalah yang kompleks dapat diuraikan ke dalam kelompok-kelompoknya yang kemudian diatur menjadi suatu bentuk hierarki sehingga permasalahan akan tampak lebih terstruktur dan sistematis (Saaty dan Vargas, 2001).

Metode AHP fleksibel dan kuat dalam menangani masalah kualitatif maupun kuantitatif. Pendekatan AHP ini telah banyak digunakan untuk berbagai aplikasi seperti permasalahan ekonomi (audit, pemilihan database, desain, keuangan, *marketing*, *product design*, *planning*, *forecasting*, alokasi *resources*, kebijakan, transportasi), permasalahan politik (*arms control*, penyelesaian konflik negara, strategi perang, pengaruh dunia), dan permasalahan sosial (perilaku dalam kompetisi, pendidikan, lingkungan, kesehatan, hukum, perkembangan populasi), permasalahan teknologi (pemilihan pasar, pemilihan portofolio, transfer teknologi) (Vargas, 1990).

3.4 Prediksi Penggunaan 3D Printing di Indonesia dengan metode AHP

Dalam memprediksi prioritas penggunaan 3D printing ke depan di Indonesia salah satunya adalah dengan melihat penggunaan 3D printing di dunia saat ini. Dari hasil studi literatur dan kuesioner, didapatkan faktor dan subfaktor dari penggunaan 3D printing di dunia. Faktor dan subfaktor ini kemudian dibuat ke dalam struktur AHP yang disajikan pada Gambar 2. Penjelasan mengenai faktor dan subfaktor pada struktur AHP disajikan dalam Tabel 2.



Gambar 2. Framework struktur AHP penggunaan 3D printing

Tabel 2. Penjelasan faktor dan subfaktor AHP

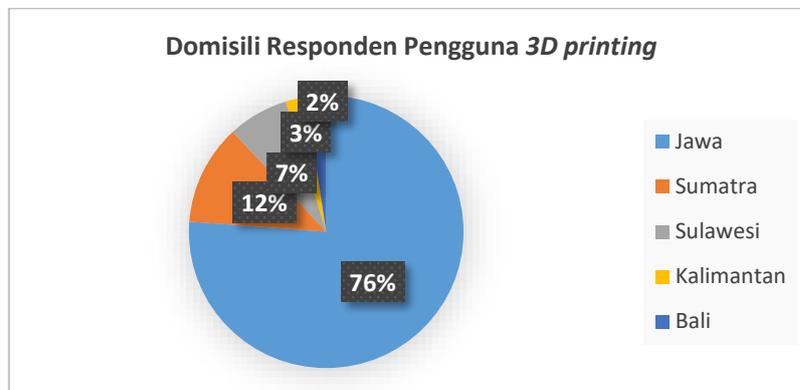
Faktor	Keterangan	Subfaktor	Keterangan
Manufaktur	Penggunaan 3D printing untuk keperluan pembuatan peralatan di manufaktur, mass customization, rapid prototyping, rapid manufacturing, riset dan adanya marketplace 3D printing.	<i>Tooling</i>	perusahaan menggunakan 3D printing untuk membuat tooling misal jig, fixture, dll.
		<i>Kustomisasi massal (Mass Customization)</i>	Perusahaan menyediakan desain agar konsumen dapat memilih desain produk yang mereka inginkan. Misal Nokia menyediakan 3D desain untuk casing, konsumen dapat memilih casing sesuai keinginan mereka.
		<i>Rapid Prototyping</i>	perusahaan menggunakan 3D printing untuk membuat prototype
		<i>Rapid Manufacturing</i>	perusahaan menggunakan 3D printing untuk mempercepat proses produksi contohnya produksi part-part dalam jumlah kecil.
		<i>Cloud-based manufacturing</i>	desain 3D printing diunggah dan dapat diunduh secara bebas maupun terbatas. Konsumen dapat mengunduh dan mencetak desain tersebut sesuai keinginan mereka (seperti marketplace)
		<i>Riset</i>	perusahaan menggunakan 3D printing untuk keperluan riset

Kesehatan	Penggunaan 3D printing untuk bidang kesehatan seperti pembuatan organ tubuh, alat bantu kesehatan maupun obat-obatan.	Bio-printing	<i>3D printing</i> digunakan untuk pembuatan organ tubuh manusia seperti telinga, hati, ginjal, dll menggunakan hydrogel, living cell, plastik.
		Peralatan Kesehatan	3D printing digunakan untuk membuat peralatan kesehatan seperti kaki palsu, tangan palsu (prostatik), ring jantung, dll.
		Obat-obatan	pencetakan obat-obatan misal pil yang bisa dibuat custom dan memungkinkan dosis tinggi dalam 1 pil
Industri	Penggunaan 3D printing untuk bidang industri seperti <i>fashion</i> , arsitektur, militer, otomotif, makanan, elektronik, dan mainan.	<i>Fashion</i>	Penggunaan <i>3D printing</i> untuk membuat pakaian, gaun, sepatu, sandal, kacamata dan barang-barang fashion lainnya.
		Konstruksi dan arsitektur	Penggunaan <i>3D printing</i> untuk membuat maket, miniatur bangunan, maupun bagian-bagian lain dari bangunan.
		Militer	Penggunaan <i>3D printing</i> untuk keperluan militer misalnya pembuatan senjata.
		Makanan	Penggunaan <i>3D printing</i> untuk makanan misalnya permen, coklat, pizza, pasta, kerupuk, dll.
		Otomotif dan <i>Aerospace</i>	Penggunaan <i>3D printing</i> untuk pembuatan suku cadang, <i>body</i> , maupun bagian lain dalam kendaraan seperti mobil, motor, maupun pesawat.
	Elektronik dan Robotik	Penggunaan <i>3D printing</i> untuk pembuatan <i>3D printer</i> , laptop, komputer, <i>drone</i> , robot dan barang-barang elektronik lainnya.	
	Mainan (<i>toys</i>)	Penggunaan <i>3D printing</i> untuk pembuatan mainan	
Sociocultural	Penggunaan <i>3D printing</i> pada bidang kesenian, perhiasan, <i>selfie</i> , musik, peralatan rumah tangga, pendidikan, lingkungan dan budaya.	Kesenian (Art)	Penggunaan <i>3D printing</i> untuk mencetak barang-barang seni misalnya patung, miniatur kendaraan, dan sebagainya
		Perhiasan (<i>jewelry</i>)	Penggunaan <i>3D printing</i> untuk mencetak perhiasan seperti gelang, kalung, anting, dan cincin.
		<i>3D selfies</i>	Penggunaan <i>3D printing</i> untuk mencetak barang-barang hasil <i>selfies</i> seperti hasil foto 2D, patung-patung 3D atau patung <i>mini-me</i> .
		Musik	penggunaan <i>3D printing</i> untuk mencetak alat musik dan <i>part</i> dari alat musik misalnya pembuatan gitar kecil (ukulele), violin, dsb.
		Peralatan rumah tangga (<i>households</i>)	Penggunaan <i>3D printing</i> untuk pembuatan perkakas rumah tangga seperti benda hias, jam dinding, peralatan dapur dan lain sebagainya.
		Pendidikan	Penggunaan <i>3D printing</i> dalam dunia pendidikan dan riset. Misalnya untuk pembuatan alat peraga pendidikan, pencetakan hasil penelitian siswa dan mahasiswa serta keperluan lain dalam pendidikan.
		Lingkungan	Penggunaan <i>3D printing</i> untuk pembuatan barang-barang yang menyerupai bahan alam misalnya batu karang, pasir, dan sebagainya.
	Sejarah dan budaya	Penggunaan <i>3D printing</i> untuk mencetak benda-benda bersejarah. Misalnya benda-benda peninggalan leluhur, barang-barang di museum, patung leluhur, dan sebagainya.	

Berbagai bidang penggunaan *3D printing* pada Gambar 2 telah digunakan di berbagai dunia. Di Indonesia belum semua dari bidang tersebut berkembang. Hal ini karena berbagai faktor seperti potensi lokal, pemerintah, masyarakat dan kemajuan teknologi. Untuk memprediksi penggunaan apa yang paling berpotensi di Indonesia pada tahun 2030 digunakan metode AHP dengan responden ahli

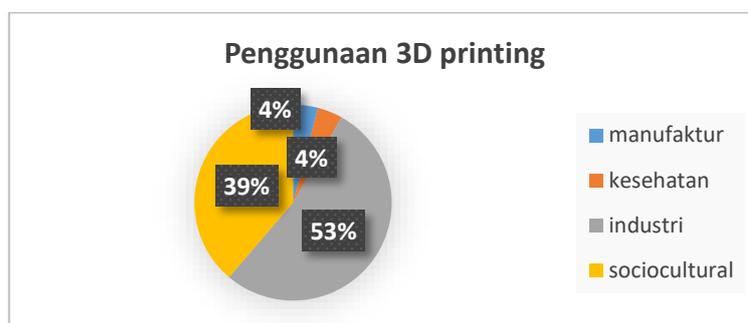
pada bidang *3D printing*, akademisi, *engineer*, pengusaha, pemerintah, dan masyarakat pengguna *3D printing*.

Dari hasil kuesioner awal dengan 42 responden didapatkan persebaran dari pengguna *3D printing* di Indonesia mulai dari Sumatra, Jawa, Kalimantan, dan Sulawesi. Pengguna dengan domisili Jawa mendominasi persebaran tersebut. Gambar 3 berikut merupakan persebaran responden pengguna *3D printing*.



Gambar 3. Persebaran Responden Pengguna 3D printing

Dari pengambilan data ke responden diperoleh bahwa saat ini *3D printing* banyak digunakan untuk pembuatan drone, robotika, mainan, peralatan rumah tangga, pendidikan, arsitektur, kesehatan, dan berbagai aplikasi lain. Gambar 4 berikut merupakan penggunaan *3D printing* saat ini dari data responden.



Gambar 4. Penggunaan 3D printing di Indonesia dari data responden

Dari data yang diperoleh terlihat bahwa belum semua sektor berkembang di Indonesia, misalnya manufaktur dan kesehatan. Pada 2 sektor ini ternyata penggunaan *3D printing* masih sedikit. Untuk mengetahui dan memprediksi penggunaan apa saja yang akan diadopsi di Indonesia pada tahun 2030, dapat digunakan metode *Technology Future Analysis* (TFA) berupa AHP. Pemberian bobot pada struktur AHP untuk mengetahui prioritas masing-masing faktor dapat dilakukan dengan *expert judgment*. Pada paper ini hanya dibahas mengenai pembentukan framework struktur AHP dan belum sampai pada pembobotan AHP.

4. KESIMPULAN

Dari studi literatur yang telah dilakukan didapatkan framework struktur AHP penggunaan *3D printing* di dunia saat ini. Belum semua sektor dalam struktur tersebut berkembang di Indonesia saat ini. Dari data awal responden didapatkan bahwa sektor industri dan sociocultural berkembang dengan baik saat ini di Indonesia tetapi sektor manufaktur dan kesehatan masih terbatas penggunaannya. Untuk bisa memprediksi sektor apa saja yang nantinya dapat diadopsi dengan baik di Indonesia, dapat dilakukan dengan *expert judgment* dari berbagai bidang baik pengusaha, *expert 3D printing*, akademisi maupun masyarakat pengguna. Pada paper ini baru dibahas mengenai pembentukan

framework struktur AHP. Untuk mendapatkan prioritas prediksi penggunaan *3D printing* ke depan perlu dilakukan penelitian lebih lanjut agar didapatkan bobot pada masing-masing faktor dan subfaktor pada model AHP yang telah dibuat.

DAFTAR PUSTAKA

- Balletti, C., Ballarin, M., Guerra, F., 2017, 3D printing : State of the art and future perspectives, *Journal of Cultural Heritage*, xxx, xxx-xxx
- Berman, B., 2012, 3-D printing: the new industrial revolution. *Bus. Horiz*, Vol.55, 155–162
- Büyükoçkan, G., 2004, Multi-criteria decision making for e-marketplace selection, *Internet Res.*, 14, 139-154
- Gebler, M., Schoot U, A.J.M., Visser, C., 2014, A global sustainability perspective on *3D printing* technologies, *Energy Policy*, Vol.74, 158-167
- Godoi, F.C., Prakash, S., Bhandari, B.R., 2016, 3D printing technologies applied for food design : Status and prospects, *Journal of Food Engineering*, Vol. 179, 44-54
- Huang, S.H., Liu, P., Mokasdar, A., Hou, L., 2013, Additive manufacturing and its societal impact: a literature review, *Int J Adv Manuf Technol*, Vol.67, 1191-1203
- Jiang, R., Kleer, R., Piller, F.T., 2017, Predicting the future of additive manufacturing: A Delphi study on economics and social implications of 3D printing for 2030, *Technological Forecasting & Social Change*, xxx, xxx-xxx
- Khajavi, S.H., Partanen, J., Holmström, J., 2014, Additive manufacturing in the spare parts supply chain, *Computers in Industry*, Vol. 65, 50-63
- Kianian, B., Sam, T., Larsson, T., Diegel, O., 2016, The Adoption of Additive Manufacturing Technology in Sweden, *Journal Procedia CIRP*, Vol.40, 7-12
- Kusuma, I.E., 2016, Pengembangan Model Bisnis Berbasis Teknologi 3D Printer dengan Pendekatan Product Service System (PSS), *Tesis*, Teknik Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya
- Lee, S., Kim, W., Kim, Y.M., Lee, H.Y., Oh, K.J., 2014, The prioritization and verification of IT emerging technologies using an analytic hierarchy process and cluster analysis, *Technological Forecasting & Social Change*, Vol. 87, 292-304
- Petrick, I.J., Simpson, T.W., 2013, 3D printing disrupts manufacturing : how economies of one new roles of competition, *Res. Tech. Management*, Vol. 56 (6), 12-16
- Porter, A.L., 2004, Technology future analysis : Towards integration of the field and new methods, *Technological Forecasting & Social Change*, Vol. 71, 287 – 303
- Rayna, T., Striukova, L., 2016, From rapid prototyping to home fabrication : How 3D printing is changing business model innovation, *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 102, 214 – 224
- Royal Academy of Engineering, 2013, Additive Manufacturing : Opportunities and Constraints, *Royal Academy of Engineering Prince Philip House*, London, 23 May 2013
- Saaty, T.L., Vargas, L.G., 2001, *Models, methods, concepts & applications of the analytic hierarchy process*, 1st edition, Kluwer Academic Publishers, New York
- Vargas, L.G., 1990, An Overview of the Analytic Hierarchy Process and its Application, *European Journal of Operational Research*, Vol. 48, 2-8