

DOI <http://dx.doi.org/10.36722/sst.v7i2.1041>

Perancangan *Filament Extruder* pada Mesin Pengolah Sampah Plastik Terintegrasi “Creatics” Menggunakan Metode TRIZ dan AHP

Aprilia Tri Purwandari^{1*}, Dicky Sumantri¹, Niken Parwati¹, Ahmad Juang Pratama¹

¹ Program studi Teknik Industri, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Al-Azhar Indonesia, Komplek Masjid Agung Al Azhar, Jalan Susungamangaraja, Kebayoran Baru, Jakarta Selatan, 12110

Penulis untuk Korespondensi/E-mail: aprilia@uai.ac.id

Abstract – 3D printer technology is being widely used in various manufacturing industries. 3D printers can produce three-dimensional products made of plastic sheets with a certain diameter called filaments. 3D printer filaments that are widely used are made of *Acrylonitrile Butadiene Styrene* (ABS) plastic. The purpose of this research is to develop a Creatics plastic waste processing machine to produce products in the form of filaments that can be used as materials in 3D printers, so that they have more economic value and are environmentally friendly. Creatics machine is an integrated plastic waste processing machine that converts plastic waste into recycled products. In this study, the *Teorija Rezhnija Izobretatelskih Zadach* (TRIZ) method is used as a product development method to determine product specifications that are able to generate new ideas by eliminating contradictions and using innovative principles that can produce creative solutions. In the process of selecting alternative concepts, the *Analytical Hierarchy Process* (AHP) decision-making method is used. The results obtained by the TRIZ method are important parameters and need to be prioritized in designing a filament extruder, namely product reliability, energy use from moving objects, and product strength. The product design chosen based on the AHP method is a filament extruder made of stainless steel to be resistant to rust and utilizes the fan in the filament cooling process.

Abstrak - Teknologi 3D printer sedang banyak digunakan diberbagai industri manufaktur. 3D printer dapat menghasilkan produk tiga dimensi yang terbuat dari lembaran plastik dengan diameter tertentu yang disebut filamen. Filamen 3D printer yang banyak digunakan terbuat dari material plastik jenis *Acrylonitrile Butadiene Styrene* (ABS). Tujuan dari penelitian ini adalah mengembangkan mesin pengolah sampah plastik Creatics untuk menghasilkan produk dalam bentuk filamen yang dapat dijadikan material dalam 3D printer, sehingga memiliki nilai yang lebih ekonomis dan ramah lingkungan. Mesin Creatics adalah mesin pengolah sampah plastik terintegrasi yang merubah sampah plastic menjadi produk daur ulang. Dalam penelitian ini, Metode *Teorija Rezhnija Izobretatelskih Zadach* (TRIZ) digunakan sebagai metode pengembangan produk untuk menentukan spesifikasi produk yang mampu membangkitkan ide baru dengan cara mengeliminir kontradiksi dan menggunakan prinsip-prinsip inovatif yang mampu menghasilkan sebuah solusi yang kreatif. Dalam proses pemilihan alternatif konsep digunakan metode pengambilan keputusan *Analytical Hierarchy Process* (AHP). Hasil yang diperoleh dengan Metode TRIZ adalah parameter yang penting dan perlu diutamakan dalam melakukan perancangan filament extruder, yaitu kehandalan produk, penggunaan energi dari pemindahan obyek, dan kekuatan produk. Rancangan produk yang terpilih berdasarkan Metode AHP adalah *filament extruder* berbahan dasar *stainless steel* agar tahan terhadap karat dan memanfaatkan kipas angin dalam proses pendinginan filamen.

Keywords - AHP method, Creatics machine, filament extruder, plastics waste, TRIZ method

PENDAHULUAN

Sampah masih menjadi permasalahan nasional yang harus segera ditangani. Sebanyak 1,3 juta sampah plastik per tahun yang tidak dikelola [1]. Seperti yang diketahui, plastik merupakan material yang sulit terurai, sehingga dapat berdampak buruk terhadap lingkungan jika tidak dikelola dengan baik. Salah satu cara yang dapat dilakukan adalah dengan pengelolaan sampah berbasis teknologi. Saat ini sudah banyak penelitian tentang mesin pengolah sampah plastik. Salah satunya adalah mesin pengolah sampah plastik Creatics yang merupakan hasil penelitian dosen dan mahasiswa Prodi Teknik Industri Universitas Al Azhar Indonesia selama dua tahun. Tahun pertama dihasilkan Prototipe Mesin Creatics terintegrasi yang mampu menghasilkan *eco paving block* [2] [3]. Pada tahun kedua dilakukan optimasi mesin menjadi lebih ergonomis dan memaksimalkan fungsi mesin terutama menghasilkan cacahan dan lelehan dengan lebih cepat.

Mesin Creatics memiliki fungsi mencacah dan melelehkan sampah plastik tertentu sekaligus untuk dijadikan *recycle product* yang memiliki nilai tambah. Hal ini menjadi keunggulan Mesin Creatics dengan mesin pengolah sampah lainnya, yaitu terintegrasi antara pencacah dan *extruder* untuk melelehkan sampah plastik yang telah dicacah, sehingga pengguna mesin hanya perlu membuat cetakan untuk membuat produk sesuai keinginan.

Penelitian ini difokuskan pada produk-produk yang mampu dihasilkan Mesin Creatics. Produk yang memiliki nilai tambah dan berdaya jual. Selama beberapa tahun terakhir, tepatnya sejak terjadi revolusi industri 4.0, *trend* penggunaan 3D printer mulai dari skala kecil hingga besar terus meningkat dalam menghasilkan produk berbahan dasar plastik. 3D printer berkerja secara otomatis dari sebuah program yang dibuat untuk merubah material berupa plastik dalam bentuk filamen (lembaran) menjadi produk akhir yang diinginkan. Material yang paling banyak digunakan untuk filamen ini biasanya terbuat dari *Acrylonitrile Butadiene Styrene* (ABS) dan *Polylactic Acid* (PLA) [4]. Di pasaran, filamen 3D printer ini relatif mahal. Dengan menggunakan bahan baku sampah plastik, dapat diproduksi filamen dengan harga yang lebih murah.

Melihat peluang dalam penggunaan 3D printer yang cukup besar dan ketersediaan bahan baku berupa sampah plastik yang melimpah, serta Mesin Creatics yang sudah mampu mengolah sampah secara

praktis, maka dari itu pada penelitian ini akan dilakukan pembuatan filamen 3D printer dari sampah plastik dengan Mesin Creatics yang ada saat ini dengan menggunakan metode TRIZ yang akan memberikan solusi kreatif dari proses sebuah pengembangan produk.

METODE

Penentuan parameter produk

Parameter produk diperoleh dengan metode penyebaran kuesioner yang berisi 39 parameter TRIZ (Tabel 1). Melalui Metode TRIZ ini, akan diketahui segala kemungkinan faktor yang mendukung (*improving attribute*) dan faktor yang dapat menjadi masalah (*worsening attribute*) akibat perbaikan yang dilakukan kedalam 39 parameter teknis dan menggunakan matriks kontradiksi untuk mencari solusinya menjadi pola penyelesaian selanjutnya, kemudian menemukan solusi permasalahan yang harus dikerjakan [5].

Proses penilaian parameter dilakukan dengan menggunakan Skala *Likert*, yaitu 1 sampai 5 dengan keterangan (1) adalah Sangat Tidak Penting; (2) adalah Tidak Penting; (3) adalah Cukup Penting; (4) adalah Penting; (5) adalah Sangat Penting. Tingkat kepentingan beberapa kriteria menurut konsumen tersebut kemudian dapat digunakan untuk membuat peringkat atau ranking. Perhitungan tingkat kepentingan dari data yang sudah dikumpulkan dengan kuesioner dihitung dengan formulasi berikut [6]:

$$\text{Tingkat Kepentingan} = \frac{\sum \text{Skala} \times \text{Jumlah Responden setiap Skala}}{\text{Total Responden}}$$

Kuesioner ini disebarkan kepada 10 orang responden yang dimana 8 orang responden merupakan orang yang memahami dan pernah melakukan pengembangan produk sebelumnya sedangkan 2 orang responden lainnya merupakan seseorang yang memiliki atau termasuk dalam suatu komunitas terkait sampah dan lingkungan. Untuk Mesin Creatics 2.0 dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Mesin pengolah sampah plastik terintegrasi Creatics 2.0

Tabel 1. Parameter TRIZ [7]

Parameter	Penjelasan
<i>Weight of moving object</i>	Berat dari suatu objek pada ruangan dengan gravitasi normal. Tenaga yang dibutuhkan untuk menekan objek tersebut.
<i>Weight of stationary object</i>	Berat dari suatu objek pada ruangan dengan gravitasi normal. Tenaga yang dibutuhkan untuk menekan objek tersebut saat diam.
<i>Length of moving object</i>	Salah satu dimensi ukuran, bukan yang terpanjang namun mempertimbang panjang.
<i>Length of stationary object</i>	Salah satu dimensi ukuran, bukan yang terpanjang namun mempertimbang panjang.
<i>Area of moving object</i>	Karakterisk geometris yang dijelaskan dari bagian-bagian pada objek tersebut. Bagian atau ukuran permukaan yang digunakan objek pada bagian dalam ataupun luar.
<i>Area of stationary object</i>	Karakterisk geometris yang dijelaskan dari bagian-bagian pada objek tersebut. Bagian atau ukuran permukaan yang digunakan objek pada bagian dalam ataupun luar.
<i>Volume of moving object</i>	Ukuran volume yang digunakan oleh objek.
<i>Volume of stationary object</i>	Ukuran volume yang digunakan oleh objek.
<i>Speed</i>	Kecepatan atau gerakan dari objek dalam suatu waktu.
<i>Force</i>	Gaya yang digunakan untuk interaksi tiap sistem, yaitu gaya yang digunakan untuk mengubah kondisi dari objek.
<i>Stress/Pressure</i>	Gaya tiap area unit dan juga tegangan.
<i>Shape</i>	Bagian dan bentuk luar dari objek.
<i>Stability of object composition</i>	Keseluruhan atau keseluruhan dari sistem, hubungan yang terjadi diantara elemen-elemen inti dari sistem
<i>Strength</i>	Tingkatan daya tahan dari sebuah objek untuk menahan perubahan gaya.
<i>Duration of action of moving object</i>	Waktu produktif yang digunakan objek untuk dapat bekerja sesuai fungsinya.
<i>Duration of action of stationary object</i>	Waktu produktif yang digunakan objek untuk dapat bekerja sesuai fungsinya.
<i>Temperature</i>	Kondisi suhu atau termal dari objek.
<i>Illumination Intensity</i>	Perubahan dari seriap unit area yang terjadi secara terus menerus seperti kualitas cahaya dan lain-lain.
<i>Use of energy of moving object</i>	Kapasitas dari objek untuk dapat melakukan fungsinya.
<i>Use of energy of stationary object</i>	Kapasitas dari objek untuk dapat melakukan fungsinya.
<i>Power</i>	Jumlah energi yang digunakan dalam suatu waktu oleh objek dalam melaksanakan fungsinya.
<i>Loss of Energy</i>	Pengunaan enggunakan energi yang tidak memberikan kontribusi untuk menyelesaikan fungsi dari objek.
<i>Loss of Substance</i>	Menghilangkan beberapa bahan baku dari suatu sistem atau objek.
<i>Loss of Information</i>	Menghilangkan beberapa data dan akses data dari suatu sistem atau objek.
<i>Loss of Time</i>	Menghilangkan durasi dari suatu sistem atau objek dalam melakukan fungsinya.
<i>Quantity of Substance</i>	Jumlah bahan baku yang digunakan yang mungkin diganti.
<i>Reliability</i>	Kemampuan sistem dalam menjalankan fungsi sesuai yang diharapkan.
<i>Measurement accuracy</i>	Kemiripan dari nilai yang dihitung pada nilai sebenarnya dibandingkan dengan nilai dari properti sistem.
<i>Manufacturing precision</i>	Perhitungan karakteristik aktual pada objek secara spesifik.
<i>Object affected harmful</i>	Kelemahan dari sistem untuk menghindari efek berbahaya.
<i>Object generated harmful</i>	Efek yang berbahaya dan salah satu penyebab yang dapat mengurangi efisiensi atau kualitas fungsi dari objek.
<i>Ease of manufacture</i>	Kemudahan dalam melakukan proses manufaktur dan fabrikasi dari suatu objek atau sistem.
<i>Convenience of use</i>	Kemudahan dalam melakukan penggunaan objek dengan tidak membutuhkan alat khusus.
<i>Ease of repair</i>	Kemudahan dan kenyamanan untuk memperbaiki kesalahan atau kerusakan dalam suatu sistem atau objek.
<i>Adaptability</i>	Kemampuan objek dalam menerima perubahan dari luar dan juga dapat digunakan dengan berbagai cara dari lingkungan yang tidak sesuai.
<i>Device complexity</i>	Tingkat kesulitan dalam menguasai penggunaan sebuah sistem atau objek.
<i>Difficulty of detecting</i>	Tingkat kesulitan dalam mengukur atau mengamati sistem yang kompleks yang ditandai dengan meningkatnya biaya dalam pengukuran ketidakpuasan.
<i>Automation</i>	Tingkat fungsi dari suatu sistem atau objek tanpa memerlukan campur tangan operator.
<i>Productivity</i>	Jumlah fungsi atau performa operasional dari suatu sistem dalam menjalankan fungsinya pada satuan waktu.

Penentuan *inventive principles*

Analisis dengan menggunakan metode TRIZ menggunakan matriks kontradiksi yang terdiri dari 39 elemen horizontal (*improved feature* atau *attribute*), 39 elemen vertikal (*worsening feature* atau *deteriorated attribute*) dan di dalamnya berisikan 40 *inventive principles* untuk dapat memperoleh beberapa solusi untuk dapat mengatasi kontradiksi yang ada dari suatu permasalahan yang terjadi antara dua parameter karakteristik yang saling berlawanan. Matriks kontradiksi dapat dilihat pada Gambar 2 dan 40 *inventive principles* dapat dilihat pada Tabel 2. Setelah melakukan identifikasi *improving parameters* dan *worsening parameters* dari hasil *brainstorming* oleh tim pengembang, maka selanjutnya dapat dilakukan identifikasi kontradiksi desain antara dua parameter kinerja untuk dapat diselesaikan memperoleh solusi menggunakan matriks kontradiksi [8].

IMPROVED ATTRIBUTE WORSENING ATTRIBUTE		1	2	3	4	5	22	30	39
		Weight of moving object	Weight of stationary object	Length or angle of moving object	Length or angle of stationary object	Area of moving object	Loss of energy	Object affected harmful factors	Productivity
1	Weight of moving object			15, 8, 29, 34		29, 17, 38, 34	6, 12, 34, 19	22, 21, 18, 27	35, 3, 24, 37
2	Weight of stationary object				10, 1, 29, 35		18, 19, 28, 15	2, 19, 22, 37	1, 26, 15, 35
3	Length or angle of moving object	8, 15, 29, 34				15, 17, 4	7, 2, 35, 39	1, 15, 17, 24	14, 4, 28, 29
4	Length or angle of stationary object		35, 28, 40, 29				6, 28	1, 18	30, 14, 7, 26
5	Area of moving object	2, 17, 29, 4			14, 15, 18, 4		15, 17, 30, 26	22, 33, 28, 1	10, 26, 34, 2
33	Ease of operation	25, 2, 15, 13	6, 13, 1, 25	1, 17, 13, 12		1, 17, 13, 16	2, 19, 13	2, 25, 28, 39	15, 1, 26
39	Productivity	35, 26, 24, 37	26, 27, 15, 3	18, 4, 28, 38	30, 7, 14, 26	10, 26, 34, 31	28, 10, 29, 35	22, 35, 13, 24	

Gambar 2. Matriks Kontradiksi TRIZ [9]

Tabel 2. *Inventive Principles* [8]

40 <i>Inventive Principles</i> TRIZ			
No	Prinsip	No	Prinsip
1	Segmentation	21	Skipping
2	Taking out	22	Blessing in disguise
3	Local quality	23	Feedback
4	Asymmetry	24	Intermediary
5	Merging	25	Self service
6	Universality	26	Copying
7	Nested doll	27	Cheap short - living object
8	Anti weight	28	Mechanics substitution
9	Preliminary anti	29	Pneumatic and Hydraulics
10	Preliminary action	30	Flexible shells and thin films
11	Beforehand cushioning	31	Porous materials
12	Equipotentiality	32	Color changes
13	The other way round	33	Homogeneity
14	Spheroidality	34	Discarding an recovering
15	Dynamics	35	Parameter changes
16	Partial or excessive action	36	Phase transition
17	Another dimensions	37	Thermal expansion
18	Mechanical vibration	38	Strong oxidants
19	Periodic action	39	Inert atmosphere
20	Continuity of useful action	40	Composite material

Dengan dilakukannya tahapan ini, maka dapat diketahui perbaikan yang dapat dilakukan dari desain *filament extruder* yang sudah ada.

Penentuan alternatif konsep produk

Setelah dihasilkan beberapa solusi dari tiap parameter berdasarkan matriks kontradiksi, selanjutnya dapat dilakukan penggabungan beberapa solusi berupa beberapa alternatif konsep menggunakan tabel kombinasi konsep. Tabel kombinasi konsep merupakan suatu teknik yang digunakan untuk mempertimbangkan beberapa kombinasi dari suatu solusi yang ada secara sistematis. Kolom dari tabel kombinasi konsep berisikan beberapa permasalahan yang telah diidentifikasi sebelumnya dengan Tabel Matriks Kontradiksi. Penggabungan solusi untuk kemudian dijadikan alternatif konsep produk *filament extruder* dilakukan berlandaskan dengan melihat permasalahan yang telah diidentifikasi sebelumnya dan juga solusi yang dihasilkan dari tabel matriks kontradiksi.

Perancangan konsep produk

Setelah diperoleh alternatif konsep produk menggunakan tabel kombinasi konsep, dilakukan perancangan desain tiga dimensi produk dengan menggunakan *Software CATIA*. Rancangan ini akan dijadikan stimuli bagi pakar untuk menentukan produk dengan konsep terbaik.

Pemilihan alternatif konsep produk

Proses pemilihan alternatif konsep produk dilakukan dengan menggunakan metode AHP dan bantuan *Software Superdecision*. Metode AHP merupakan salah satu metode pengambilan keputusan multi kriteria yang mampu menguraikan suatu situasi yang kompleks, tidak terstruktur ke dalam bagian-bagian komponennya, menata bagian atau variabel dalam suatu susunan hirarki, memberi nilai numerik pada pertimbangan subyektif tentang relatif pentingnya di setiap variabel, dan mensintesiskan berbagai pertimbangan ini untuk menetapkan variabel mana yang memiliki prioritas paling tinggi dan bertindak untuk mempengaruhi pada suatu situasi [10].

Metode AHP merupakan metode yang sangat fleksibel dalam menghasilkan cara sederhana untuk menemukan hubungan antara kriteria dan alternatif dalam pengambilan keputusan [11].

Penyebaran kuesioner dilakukan kepada tiga pakar untuk memilih alternatif konsep produk. Pakar dalam penelitian ini adalah orang-orang yang ahli dalam inovasi produk dan setelah jawaban telah terkumpul selanjutnya dapat dilakukan pengolahan dengan *Software Superdecision*. Desain alternatif dari *filament extruder* yang terpilih berdasarkan metode AHP maka akan dikembangkan menjadi prototipe yang dapat digunakan sebagai cetakan dari alat pengolah sampah Creatics 2.0.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Parameter produk

Jumlah kriteria yang diutamakan untuk dijadikan acuan dalam mengembangkan *filament extruder* adalah tiga kriteria yang memiliki nilai tingkat kepentingan tertinggi yang dihitung Berdasarkan perhitungan, diketahui bahwa tiga kriteria yang perlu diutamakan berdasarkan kebutuhan konsumen adalah *reliability*, *use of energy of moving object*, dan *strength* yang dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Parameter Paling Penting

No	Parameter	Skor	Ranking
1	<i>Reliability</i>	4.10	1
2	<i>Use of energy of moving object</i>	3.90	2
3	<i>Strength</i>	3.50	3

Matriks kontradiksi

Setelah diidentifikasi tiga parameter dengan peringkat tertinggi dengan nilai skor dan tingkat kepentingan yang telah dihitung sebelumnya, selanjutnya dilakukan penentuan kebutuhan konsumen, *improving parameter*, dan *inventive principle* untuk menciptakan solusi dan konsep yang akan dikembangkan dalam merancang *filament extruder* pada penelitian ini. Hasil dari studi literatur dan *brainstorming* untuk mendapatkan solusi akhir berdasarkan matriks kontradiksi tertera pada Tabel 4.

Berdasarkan ketiga parameter tersebut, selanjutnya dapat diuraikan kebutuhan konsumen dengan melakukan studi literatur dan *brainstorming*. *Brainstroming* dilakukan bersama dengan tim pengembang Creatics 2.0 untuk mengidentifikasi kebutuhan konsumen yang sesuai dengan produk *filament extruder* yang akan dibuat, sebelum *brainstorming* dilakukan, tim pengembang melakukan studi literatur terhadap parameter penentuan kebutuhan konsumen.

Tabel 4. Rekapitulasi *Improving Attribute*, *Worsening Attribute*, *Inventive Priciples*, dan Solusinya

Parameter	Attribute	Improving Attribute	Worsening Attribute	Inventive Principle	Selected Parameter	Solution
Reliability	Mesin dapat mendinginkan filamen	Menggunakan air sebagai media pendinginan (27)	Air tidak dapat mendinginkan setelah melewati waktu tertentu (22)	10 11 35	Parameter Change (35)	Menggunakan kipas
	Mesin dapat menarik dan mengukur filamen	Menggunakan penarik dan pengukur filament (27)	Penggunaan energi listrik untuk mengoperasikan penarik dan pengukur (19)	21 11 27 19	Periodic Action (19)	Pengukuran dilakukan secara otomatis pada waktu tertentu
	Mesin dapat menggulung filamen	Menggunakan penggulung filamen otomatis (27)	Berat besar terkumpul pada penggulung filament (01) Penggulung filamen dapat membahayakan operator (31) Penggulung yang berat dapat membuat operator kesulitan menggunakannya (33)	03 08 10 40 35 02 40 26 27 17 40	Composite Materials (40)	Menggunakan tempat penggulung filamen berbahan <i>composite</i> agar kuat dan ringan
Use of energy of moving object	Pendingin menggunakan energi yang rendah	menggunakan air agar lebih hemat energi listrik (19)	Air tidak dapat mendinginkan setelah melewati waktu tertentu (22)	12 22 15 24	Intermediary/Mediator (24)	Menggunakan <i>thermoelectric</i> untuk kembali mendinginkan air
	Penarik dan pengukur menggunakan energi yang rendah	melakukan pengukuran secara manual (19)	Produksi akan terhenti untuk melakukan pengukuran yang akurat (25) Operator kesulitan melakukan pengukuran secara terus-menerus (33)	35 38 19 18 19 35	Periodic Action (19)	Pengukuran dan pengaturan kecepatan penarik secara manual

Parameter	Attribute	Improving Attribute	Worsening Attribute	Inventive Principle	Selected Parameter	Solution
						pada waktu tertentu
	Penggulung menggunakan energi yang rendah	Melakukan penggulangan secara manual (19)	Penggulangan secara manual dapat menyebabkan risiko cedera pada operator (31) Penggulangan secara manual membuat proses operasi menjadi lebih sulit (33)	02 35 06 19 35	Parameter Change (35)	Mengubah volume filament menjadi lebih sedikit
			Mesin memiliki beban berlebih (01)	01 08 40 15	Segmentation (01)	Membagi mesin menjadi beberapa bagian
Strength	Mesin memiliki struktur rangka yang kuat	Menggunakan bahan besi sebagai bahan utama (14)	Karatn membuat penampilan luar menjadi tidak menarik (12) Mesin dapat menjadi karatan (30)	10 30 35 40 18 35 37 01	Composite Materials (40)	Menggunakan bahan komposit anti karat (stainless steel)
			Karatn dapat menyebabkan risiko pada operator (31)	15 35 22 02	Parameter Change (35)	Mengubah bahan utama menjadi bahan anti karat (kayu)

Kebutuhan konsumen terhadap *filament extruder* berdasarkan parameter *reability* adalah mesin dapat mendinginkan filament, dapat menarik dan mengukur filament, serta mesin dapat menggulung filament. Ketiga hal tersebut merupakan fungsi utama dari suatu *filament extruder* yang artinya suatu *filament extruder* perlu menjalankan fungsi tersebut untuk memenuhi parameter *realibility* sehingga konsumen dapat menggunakan *filament extruder* dengan optimal. *Improve* atau pengembangan yang dapat dilakukan berdasarkan kebutuhan konsumen tersebut secara berurutan adalah menggunakan air sebagai media pendinginan, menggunakan penarik dan pengukur filament, dan menggunakan penggulung filament otomatis.

Parameter *use of energy of moving object* dapat diuraikan kebutuhan konsumennya adalah pendingin, penarik dan pengukur, serta penggulung menggunakan energi yang rendah. Ketiga hal tersebut merupakan kebutuhan konsumen karena semakin sedikit energi yang digunakan artinya suatu produk akan menjadi lebih hemat energi dan hal tersebut merupakan nilai tambah bagi konsumen. Sedangkan berdasarkan parameter *strength*, dapat diuraikan bahwa kebutuhan konsumennya adalah struktur rangka dari *filament extruder* memiliki tingkat kekuatan yang tinggi. Hal ini perlu dimiliki oleh *filament extruder* untuk bekerja dengan optimal dan dapat memiliki kapasitas yang besar dalam menampung hasil lelehan plastik untuk kemudian dijadikan filament.

Setelah diketahui *Improve* dari tiap parameter, maka selanjutnya dapat diketahui aspek *worse* dari tiap parameter dan kemudian dapat ditentukan *Inventive*

Principle yang dilakukan berlandaskan pilihan pengembangan yang ditawarkan metode TRIZ pada Matriks Kontradiksi. Setelah ditentukan *Inventive Principle*, selanjutnya dapat ditentukan *Selected Parameter* berdasarkan Matriks Kontradiksi dengan berlandaskan *Inventive Parameter* yang telah diperoleh. Dengan diketahuinya *Selected Parameter* tersebut maka dapat diciptakan beberapa solusi yang kemudian akan digunakan dalam pengembangan *filament extruder*.

Berdasarkan parameter *reliability*, terdapat tiga solusi yang tercipta yaitu menggunakan kipas sebagai pendingin, pengukuran dilakukan secara otomatis pada waktu tertentu secara berkala (*periodic*) sehingga pengoperasian mesin *filament extruder* menjadi lebih efektif dan efisien, serta menggunakan tempat roll filament berbahan *composite* agar mesin *filament extruder* secara keseluruhan akan menjadi lebih kuat dan ringan sehingga lebih mudah untuk dipindahkan oleh pengguna. Berdasarkan parameter *use of energy of moving object*, solusi yang tercipta adalah menggunakan *thermoelectric* untuk kembali mendinginkan air, pengukuran dan pengaturan kecepatan penarik dilakukan secara manual pada waktu tertentu dan secara berkala (*periodic*), dan mengubah volume filament yang tergulung menjadi lebih sedikit dengan cara mengecilkan ukuran penggulung filament. Berdasarkan parameter *strength*, solusi yang dihasilkan adalah membagi mesin menjadi beberapa bagian, menggunakan bahan komposit anti karat (*stainless steel*) sehingga mesin menjadi lebih kuat dan tidak mudah mengalami kerusakan, dan mengubah bahan utama menjadi bahan anti karat (kayu) yang juga dapat

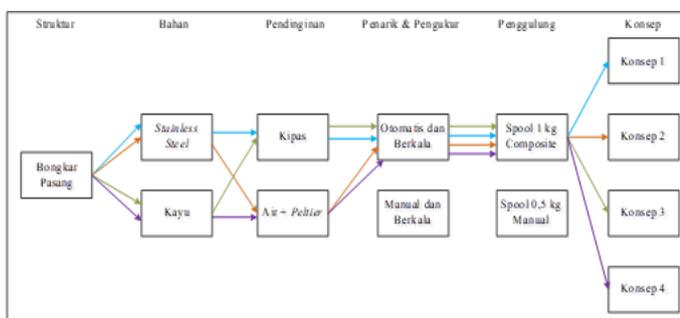
dilakukan untuk membuat mesin menjadi lebih kuat dan tidak mudah rusak.

Berdasarkan parameter *reliability*, terdapat tiga solusi yang tercipta yaitu menggunakan kipas sebagai pendingin, pengukuran dilakukan secara otomatis pada waktu tertentu secara berkala (*periodic*) sehingga pengoperasian mesin *filament extruder* menjadi lebih efektif dan efisien, serta menggunakan tempat roll filament berbahan *composite* agar mesin *filament extruder* secara keseluruhan akan menjadi lebih kuat dan ringan sehingga lebih mudah untuk dipindahkan oleh pengguna. Berdasarkan parameter *use of energy of moving object*, solusi yang tercipta adalah menggunakan *thermoelectric* untuk kembali

Tabel kombinasi konsep

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari matriks kontradiksi, diperoleh empat alternatif konsep yang memungkinkan untuk direalisasikan dan dikembangkan dalam perancangan *filament extruder*. Alternatif konsep tersebut dibentuk berdasarkan struktur produk, bahan, pendinginan, penarik dan pengukur, penggulung. Tabel kombinasi konsep dapat dilihat pada Gambar 3.

Konsep kombinasi ini akan dijadikan alternatif *filament extruder* yang akan dikembangkan sehingga perlu dibuat spesifikasi produk dan kemudian desainnya berdasarkan konsep kombinasi tersebut dengan menggunakan *software* CATIA serta kemudian dapat dilakukan pemilihan alternatif yang paling optimal untuk direalisasikan berdasarkan pendapat pakar.



Gambar 3. Tabel Kombinasi Konsep

Spesifikasi produk

Berdasarkan kombinasi konsep yang telah dilakukan untuk menghasilkan alternatif mesin *filament extruder*, maka selanjutnya dapat ditentukan terlebih dahulu spesifikasi produk untuk kemudian dapat dikembangkan menjadi desain dari tiap alternatif. Kombinasi konsep yang dilakukan menghasilkan

mendinginkan air, pengukuran dan pengaturan kecepatan penarik dilakukan secara manual pada waktu tertentu dan secara berkala (*periodic*), dan mengubah volume filament yang tergulung menjadi lebih sedikit dengan cara mengecilkan ukuran penggulung filament. Berdasarkan parameter *strength*, solusi yang dihasilkan adalah membagi mesin menjadi beberapa bagian, menggunakan bahan komposit anti karat (*stainless steel*) sehingga mesin menjadi lebih kuat dan tidak mudah mengalami kerusakan, dan mengubah bahan utama menjadi bahan anti karat (kayu) yang juga dapat dilakukan untuk membuat mesin menjadi lebih kuat dan tidak mudah rusak.

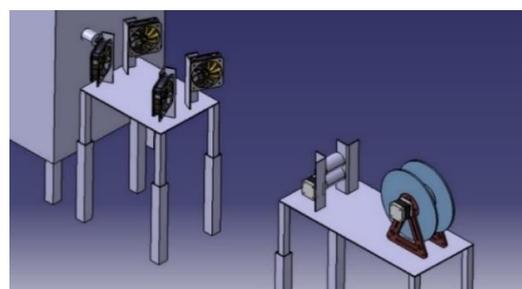
empat alternatif yang berbeda namun tiap alternatif memiliki beberapa kesamaan. Oleh karena itu, spesifikasi produk diuraikan untuk tiap alternatif berdasarkan *part* (bagian), *unit*, dan *value*. Spesifikasi produk dari tiap alternatif mesin *filament extruder* dapat dilihat pada Tabel berikut.

Tabel 5. Spesifikasi Produk

No	Part	Unit	Value
1	Rangka	Subject	Stainless Steel
			Kayu
2	Pendingin Kipas	Watt	10,4
3	Peltier	Watt	60
4	Pompa Air	Watt	4
5	Puller	Subject	Otomatis
6	Spooler	Subject	Otomatis

Desain alternatif konsep produk

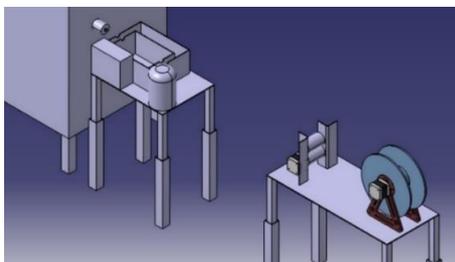
Rancangan alternatif pertama pembuat filamen dibuat berdasarkan konsep kombinasi nomor satu, yaitu struktur mesin menggunakan konsep bongkar, material menggunakan stainless steel, pendinginan dengan kipas, penarik dan pengukur otomatis dan periodik, dan penggulung menggunakan *spool* komposit 1 kg. Desain alternatif pertama dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4 Desain Alternatif Pertama

Bongkar pasang artinya rangka mesin pembuat filamen dapat dibagi menjadi beberapa bagian terpisah, sedangkan cara kerja mesin pembuat filamen dengan desain ini adalah plastik dari mesin Creatics 2.0 terlebih dahulu dicairkan, kemudian didinginkan menggunakan kipas angin, lalu proses penarikan dan pengukuran dilakukan secara otomatis dan ketika proses pengukuran panjang filamen yang diinginkan telah selesai, selanjutnya adalah proses penarikan dan penggulungan menggunakan spool komposit 1 kg yang tersedia dan filamen telah diproduksi.

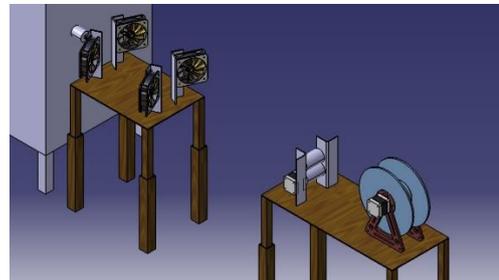
Selanjutnya dapat dibuat alternatif desain kedua berdasarkan konsep nomor dua pada tabel kombinasi konsep, yaitu struktur dari mesin yang menggunakan konsep bongkar pasang, material menggunakan *stainless steel*, pendinginan dengan air dan pendinginan, penarikan dan pengukuran secara otomatis dan berkala dan rol menggunakan *spool* 1 kg komposit. Desain alternatif kedua dapat dilihat pada Gambar 5.



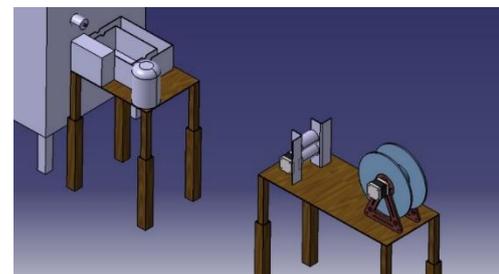
Gambar 5. Desain Alternatif Kedua

Cara kerja mesin pembuat filamen dengan desain alternatif kedua memiliki proses yang mirip dengan desain alternatif kedua, perbedaan prosesnya hanya pada proses pendinginan. Pada desain ini proses pendinginan dilakukan dengan menggunakan air dan pendingin dengan pendingin yang dimaksud adalah Peltier. Lelehan plastik dari mesin Creatics 2.0 didinginkan menggunakan air dan *coolant*, kemudian proses penarikan dan pengukuran dilakukan secara otomatis dan ketika proses pengukuran panjang filamen yang diinginkan telah selesai. Proses selanjutnya adalah penarikan dan kemudian penggulungan menggunakan spool komposit A 1 kg tersedia dan filamen telah diproduksi. Selanjutnya dapat dibuat alternatif desain ketiga berdasarkan konsep nomor tiga pada Tabel Kombinasi Konsep, yaitu struktur dari mesin yang menggunakan konsep bongkar muat, material menggunakan kayu, pendinginan dengan kipas angin, penarik dan pengukur otomatis dan periodik, serta roller. menggunakan spool komposit 1 kg.

Alternatif tiga memiliki spesifikasi mesin yang sama dengan alternatif satu dan alternatif empat memiliki spesifikasi mesin yang sama dengan alternatif dua. Perbedaannya adalah penggunaan kayu sebagai rangka pada mesin pembuat filamen. Desain alternatif ketiga dan keempat masing-masing dapat dilihat pada Gambar 6 dan 7.



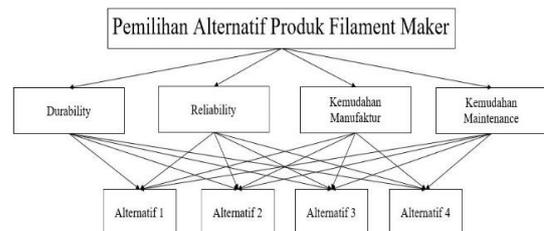
Gambar 6. Desain Alternatif Ketiga



Gambar 7. Desain Alternatif Ketiga

Pemilihan alternatif produk menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process (AHP)*

Setelah semua desain untuk setiap alternatif dibuat menggunakan software CATIA, maka dapat dipilih alternatif yang paling optimal untuk mesin pembuat filamen. Pemilihan ini dilakukan dengan menggunakan Metode *Analytical Hierarchy Process (AHP)* untuk mengambil keputusan. Struktur hirarki dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 8. Kriteria dalam struktur diperoleh dari hasil wawancara dengan pakar di bidang riset pemasaran dan pengembangan produk.



Gambar 8. Struktur Hirarki AHP

Penilaian dilakukan melalui proses wawancara kepada tiga orang pakar. Pakar memberikan nilai kualitatif 1 sampai 9 dan kebalikannya

untuk membandingkan kepentingan antar kriteria dan perbandingan alternatif berdasarkan kriteria yang ada. Hasil pengolahan data AHP dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Pengolahan Data AHP Menggunakan *Software Superdecision*

Name	Normalized By Cluster
Alternatif 1	0,40463
Alternatif 2	0,15274
Alternatif 3	0,36072
Alternatif 4	0,08191
<i>Durability</i>	0,28167
Kemudahan <i>Maintenance</i>	0,14586
Kemudahan Manufaktur	0,31329
<i>Reliability</i>	0,25918

Berdasarkan hasil pengolahan data dengan *Software Superdecision*, dapat diketahui bahwa Alternatif 1 dan kriteria kemudahan manufaktur memiliki nilai normalisasi tertinggi yang secara berurutan adalah sebesar 0,40463 dan 0,31329. Hal tersebut menunjukkan bahwa kriteria kemudahan manufaktur merupakan kriteria yang paling penting untuk digunakan dalam menentukan alternatif yang terbaik dan Alternatif 1 merupakan alternatif yang terbaik.

Alternatif yang dianggap terbaik dan memungkinkan untuk dikembangkan adalah Alternatif 1 yang merupakan kombinasi konsep pertama yang terdiri dari struktur dengan mesin yang menggunakan konsep bongkar pasang, bahan dengan menggunakan *stainless steel*, pendinginan dengan kipas, penarik dan pengukur dengan otomatis dan berkala, serta penggulung menggunakan *spool 1 kg composite*. Kelebihan dari Alternatif 1 adalah penggunaan kipas sebagai pendingin karena pada proses pendinginan dengan menggunakan kipas, pendingin tidak akan menjadi panas karena panas dari hasil lelehan plastik yang keluar dari mesin *extruder Creatics 2.0*, sedangkan jika menggunakan air sebagai pendingin, maka air menjadi panas selama proses pendinginan dan memerlukan penggantian air secara berkala dan hal tersebut membuat keseluruhan proses menjadi tidak lebih efisien.

KESIMPULAN

Setelah dilakukan pengumpulan data dan pengolahan data dengan menggunakan Metode TRIZ dan AHP, dapat dilakukan penarikan kesimpulan sebagai berikut.

1. Berdasarkan pengolahan data yang dilakukan untuk mengetahui kebutuhan konsumen dengan menggunakan 39 parameter TRIZ dapat diketahui tiga atribut kebutuhan konsumen yang memiliki nilai tertinggi berdasarkan skoring tingkat kepentingan sehingga perlu diprioritaskan dalam melakukan pengembangan produk *filament extruder*, yaitu adalah *reliability*, *use of energy of moving object*, dan *strength*.
2. Rancangan terbaik yang terpilih adalah mesin yang menggunakan konsep bongkar pasang, bahan dengan menggunakan *stainless steel*, pendinginan dengan kipas, penarik dan pengukur dengan otomatis dan berkala, serta penggulung menggunakan *spool 1 kg composite*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM) Universitas Al Azhar Indonesia atas hibah penelitian skema *Stimulus Grant Research* yang diberikan kepada tim peneliti, sehingga penelitian ini dapat direalisasikan, dan juga seluruh pihak yang berkontribusi, seperti tim pengembang mesin *Creatics 1.0* dan *2.0* serta para pakar yang memberikan masukan terhadap penelitian ini.

REFERENSI

- [1] F. Prayoga, 27 November 2018. [Online]. Available: <https://nasional.okezone.com>. [Accessed 19 Februari 2021].
- [2] N. Parwati, R. Nurdina, A. T. Purwandari and W. N. Tanjung, "Prototype Design of Plastic Waste Processing Equipment," in *12th ISIEM (International Seminar on Industrial Engineering & Management)*, Malang, 2020.
- [3] A. T. Purwandari, A. Ratnamirah, N. Parwati and W. N. Tanjung, "Determining Optimum Eco Paving Block Compositions by Using Factorial Design Method," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 847, no. 1, 2020.
- [4] S. B. W. B. Andersson T, "Degradation of polyethylene during extrusion. II. Degradation of low-density polyethylene,

- linear lowdensity polyethylene, and high-density polyethylene in film extrusion," *Journal Applied Polymer Science*, vol. 91, p. 1525–1537, 2004.
- [5] A. D. Putri, N. R. As'ad and H. Oemar, "Perbaikan Kualitas dengan Menggunakan Metode TRIZ untuk Meminimasi Cacat pada Proses Pembuatan Al-Qur'an di PT Sygma Exa Grafika," in *Seminar Penelitian Sivitas Akademika Unisba*, Bandung, 2018.
- [6] A. Haq and J. J. Aditio, "Identifikasi Kebutuhan Konsumen Produk Mobil Etios Valco Di PT. TMMIN," *Jurnal Al-Azhar Indonesia Seri Sains dan Teknologi*, vol. IV, no. 4, pp. 156-165, 2018.
- [7] D. Puspitarini, A. Suzianti and H. Al Rasyid, "Designing A Sustainable Energy-Harvesting Stairway: Determining Product Specifications Using TRIZ Method," in *Urban Planning and Architecture Design for Sustainable Development*, Lecce, 2016.
- [8] R. Prabowo and S. Wijaya, "Integrasi New Seven Tools dan TRIZ (Theory Inventive Problem Solving) untuk Pengendalian Kualitas Produk Kran (Studi Kasus: PT. Ever Age Valves Metals-Wiringanom, Gresik)," *Jurnal Teknik Industri*, vol. 10, no. 1, pp. 22-30, 2020.
- [9] K. G. Sidanta, W. Budiawan and Sriyanto, "Redesain Alat Bantu Press Tahu dengan Menggunakan Metode Quality Function Deployment (QFD) dan Teorija Rezhenija Izobretatelskih Zadach (TRIZ)," *Jurnal Teknik Industri UNDIP*, vol. 5, no. 3, pp. 1-9, 2016.
- [10] S. Sunarsa and R. I. Handayani, "Sistem Pendukung Keputusan Pemilihan Laptop untuk Karyawan pada PT . Indotekno dengan Menggunakan Metode Analitical Hierarchy Process," *Junal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Komputer*, vol. II, no. 1, pp. 5-10, 2016.
- [11] T. A. Pachemska, M. Lapevski and R. Timovski, "Analytical Hierarchical Process (AHP) Method Application in The Process of Selection and Evaluation," in *International Scientific Conference "UNITECH 2014"*, Gabrovo, 2014.