

PERANCANGAN DAN OPTIMASI PARAMETER DESAIN *TRASH CONTAINER* UNTUK MENDAPATKAN NILAI DEFORMASI TERKECIL MENGGUNAKAN METODE *MULTI-FACTOR EXPERIMENTAL DESIGN*

DESIGNING AND OPTIMIZING DESIGN PARAMETERS OF TRASH CONTAINER TO GET THE SMALLEST DEFORMATION VALUE USING MULTI-FACTOR EXPERIMENTAL DESIGN

Firjatullah Nastari¹, Rino Andias Nugraha², Ilma Mufidah³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Telkom

¹firjatullah@telkomuniversity.ac.id, ²rinoandias@telkomuniveristy.co.id,

³ilmamufidah@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Sistem pengangkutan sampah di Indonesia masih banyak bergantung terhadap kontainer sampah yang diletakkan di beberapa titik, dan diangkut oleh truk khusus ke TPS atau TPA yang telah ditentukan. Pada studi ini akan dilakukan perancangan desain *trash container* yang berfungsi untuk menampung sampah dan limbah dari sungai. Luaran desain yang ingin dicapai pada studi ini adalah desain memiliki daya tampung sebesar 7 m³, desain *robust* dan dapat menahan beban yang disesuaikan dengan kapasitas volume tanpa terjadi *plastic deformation*. Untuk melakukan perancangan yang optimal akan dilakukan optimasi parameter desain yaitu bentuk, dimensi, dan juga material. Parameter yang terpilih ini ditentukan dengan menyesuaikan dengan kebutuhan sistem dan dioptimasi menggunakan metode *multi-factor experimental design*. Metode ini cocok untuk digunakan karena merupakan salah satu metode untuk *design of experiment* namun faktor yang akan diteliti lebih dari satu. Dalam studi ini yang dimaksud sebagai faktor adalah parameter desain. Pada tahapan pengerjaannya akan dilakukan *finite element analysis* menggunakan *static structural simulation* dengan *output* nilai deformasi. Setelah setiap konsep desain disimulasikan, data akan diuji menggunakan uji *Kruskal-Wallis* untuk dilihat parameter mana yang paling berpengaruh signifikan terhadap luaran desain yang diinginkan.

Kata kunci : *trash container, multi-factor experimental design, finite element analysis, static structural simulation, Kruskal-Wallis.*

Abstract

The waste transportation system in Indonesia still depends a lot on trash containers that were placed at several points and will be transported by a designed truck to a TPS or TPA. In this study the design of the trash container will be carried out will has a function to accommodate garbage and waste from the river. The design output to be achieved in this study are the design that has a volume capacity of 7 m³, and the design is robust and can withstand loads with the value that has adjusted to volume capacity without plastic deformation occurs. To perform an optimal design, optimization of design parameters that is shape, dimensions, and material will be carried out. The selected parameters are determined by adjusting to the system requirements or system's need and optimized using the multi-factor experimental design method. This method is suitable for use because it is one of the methods for design of experiments with the factors that will be examined are more than one. In this study the design parameter are what we referred as factor. At the stage of the process, will be performed finite element analysis using static structural simulation with the output value of deformation. After each design concept is simulated, the data will be tested using the Kruskal-Wallis test to see which parameters have the most significant influence on the desired design output.

Keywords: *trash container, multi-factor experimental design, finite element analysis, static structural simulation, Kruskal-Wallis.*

1. PENDAHULUAN

Sampah adalah salah satu permasalahan yang sampai sekarang cara penanggulangan dan penyelesaiannya selalu dikembangkan. Tercatat pada tiga tahun lalu, limbah padat di empat kota besar di Indonesia yaitu Semarang, Surabaya, Bandung, dan Jakarta mencapai angka 80,235 ton per hari [1]. Penanggulangan sampah di Indonesia yang khususnya dilakukan oleh pemerintah masih banyak bergantung terhadap tempat pembuangan akhir (TPA). Sistem pengumpulan sampahnya adalah kontainer sampah besar yang ditempatkan di beberapa titik di setiap kota, kemudian

setelah kontainer terisi penuh akan diangkut oleh truk pengangkut sampah (*roll-off truck*) sesuai jadwal. Hal ini menjadikan peran dari *trash container* atau bak sampah sangat besar bagi sistem pembuangan sampah di Indonesia. *Trash container* sendiri memiliki berbagai desain dan juga fungsi. Terdapat kontainer yang berfungsi untuk menampung sampah jenis tertentu dan harus diletakkan di luar ruangan atau gedung, ada juga kontainer yang dapat diletakkan di dalam ruangan. Untuk menentukan kontainer sampah bagaimana yang cocok digunakan oleh sebuah gedung, perlu diketahui jenis sampah apa saja yang akan diproduksi atau dihasilkan oleh penghuni gedung tersebut [2]. *Trash container* yang akan didesain pada studi ini adalah kontainer sampah yang berfungsi untuk menampung sampah dan limbah yang terdapat di sungai. Pada tahapan perancangan hingga pemilihan konsep desain untuk menghasilkan desain terbaik, akan dilewati beberapa proses dimulai dari menentukan parameter desain, simulasi desain, perhitungan nilai signifikansi parameter, hingga pemilihan konsep desain.

Pada proses perancangan konsep, parameter desain adalah salah satu faktor yang harus diperhatikan. Hal ini dikarenakan parameter desain adalah kumpulan aspek kualitatif dan kuantitatif dari karakteristik fisik maupun fungsional suatu komponen, produk, ataupun sistem yang menjadi input untuk proses desain. Desain parameter berfokus pada pengidentifikasian nilai parameter secara spesifik untuk karakteristik desain yang akan meminimalisir variabilitas dalam penggunaan maupun kinerja suatu produk. Dubey dan Yadava melakukan optimasi parameter *laser beam cutting* untuk mendapatkan hasil potongan yang berkualitas dengan menggunakan material-material yang ditentukan [3]. Tergantung dengan tujuan dan fungsi produk yang di desain, parameter dari suatu desain perlu di optimasi untuk mengidentifikasi karakteristik desain, resiko yang dapat ditimbulkan, dan mengefesienkan pembuatan konsep desain. Namun untuk mendapatkan parameter desain yang optimal itu sendiri diperlukan pengukuran yang tepat terlebih dahulu. Ada banyak cara dan metode untuk melakukan optimasi parameter. Pemilihan penggunaan metodenya pun harus dilakukan dengan menyesuaikan kebutuhan desain dan tujuan studi. penelitian TIR Lens yang menggunakan 3 buah metode sekaligus yaitu *Support Vector Regression (SVR)*, *Taguchi Loss Function*, dan *Artificial Bee Colony (ABC)* yang tujuannya adalah mengoptimalkan desain dengan menyelesaikan permasalahan yang ada pada parameter desain. Terdapat 6 parameter TIR Lens yang diukur optimasinya yaitu material lens, ketinggian lens, radius kelengkungan lens, diameter *micro-lens*, dan jarak *micro-lens* kemudian dilakukan sepuluh kali eksperimen yang menghasilkan 4 desain TIR Lens yang memenuhi persyaratan spesifikasi. Pada kasus ini, salah satu komponen pada mesin *Automated River Cleaner* yaitu *trash container* atau bak sampah akan diukur optimasi parameter desainnya menggunakan metode *multi-factor experimental design*.

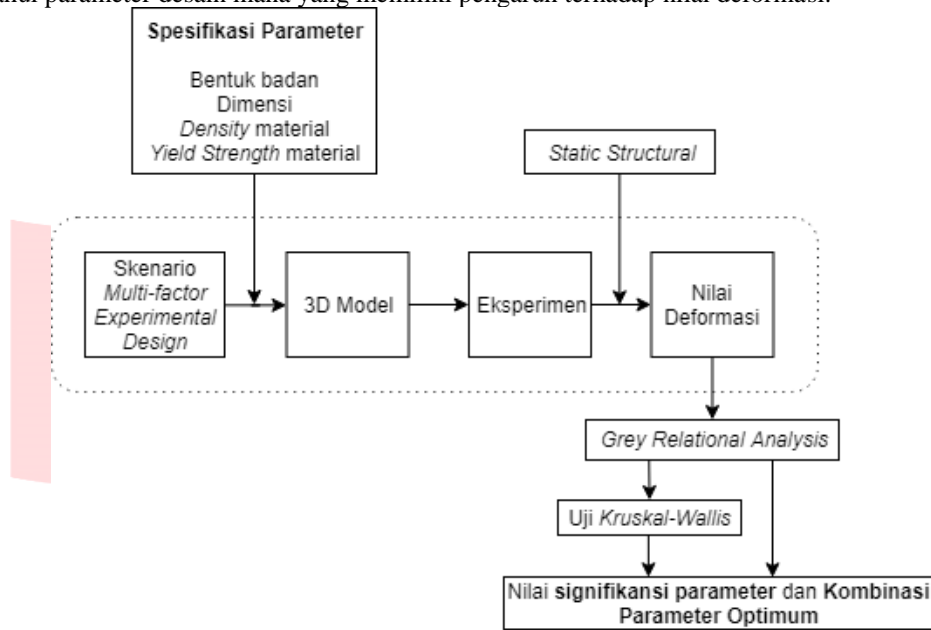
Multi-Factor Experimental Design sendiri merupakan suatu metode yang dirancang untuk mengevaluasi beberapa faktor yang ditetapkan pada berbagai level menggunakan metode *multi-factor experimental design* pada teknologi manufaktur *direct metal deposition (DMD)*. Pendekatannya menggunakan berbagai proses dan kondisi material dengan tujuan untuk mempelajari perilaku *sliding wear* DMD terhadap penghalau baja ringan dibawah kondisi kering. Hasil dari beberapa kali eksperimen pada penelitian ini adalah mengungkap karakteristik penting dari material-material terkait dalam hal koefisien dan gesekan. Berdasarkan penelitian-penelitian sebelumnya yang menggunakan metode *multi-factor experimental design* ini digunakan ketika faktor penentu untuk mengoptimasi parameter lebih dari satu faktor. Pada 5 tahun yang lalu terdapat sebuah penelitian yang menekankan bahwa analisis parameter memainkan peran yang sangat penting dalam mengembangkan pemahaman terhadap masalah yang ada pada desain dan menunjukkan potensi solusinya. Berdasarkan pengertian dari parameter desain, dan penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya dapat disimpulkan bahwa mengetahui apakah suatu parameter desain itu adalah parameter yang penting untuk dipertimbangkan atau sudah optimal akan mempengaruhi karakteristik produk. Dengan tujuan yang mempertimbangkan spesifikasi desain untuk merancang suatu konsep desain *trash container*, metode ini sangat cocok dengan studi yang dilakukan karena konsep desain akan dirancang sesuai dengan hasil optimasi parameter desain sehingga desain yang terpilih akan lebih objektif dan optimal.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Prosedur

Model konseptual studi yang dapat dilihat pada gambar 1 menunjukkan skema pengerjaan studi secara konseptual. Fokus dari studi ini adalah menemukan parameter desain yang signifikan terhadap kebutuhan desain dan kombinasi parameter atau konsep desain yang optimal. Studi diawali dengan menggunakan metode *multi-factor experimental design* yang membutuhkan input spesifikasi parameter yaitu bentuk badan, dimensi, *density* material, dan *yield strength* material serta peralatan berupa PC dan *software* analisis CAD. Setelah ditentukan parameter desain, selanjutnya adalah membuat 3D model dan mensimulasikannya menggunakan simulasi *static structural*. Namun input simulasi ini berupa nilai *force* dan *pressure* yang sebelumnya harus dihitung terlebih dahulu. Setelah melakukan simulasi maka akan didapatkan output berupa nilai deformasi. Dari nilai deformasi ini kemudian akan dilakukan uji statistik yang diawali dengan uji normalitas data. Uji ini dilakukan untuk melihat apakah data yang dimiliki berdistribusi normal atau berdistribusi tidak normal. Setelah diketahui maka dapat dilanjutkan ke uji *Kruskal-Wallis* dimana uji ini merupakan uji non-parametrik yang *robust* terhadap normalitas data, dalam kata lain

uji ini dapat digunakan pada data yang tidak berdistribusi normal karena nilai normalitas dapat diabaikan. Dari hasil ini dapat diketahui parameter desain mana yang memiliki pengaruh terhadap nilai deformasi.

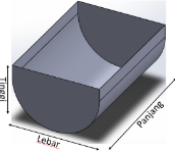
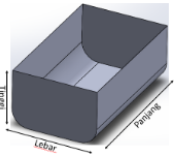


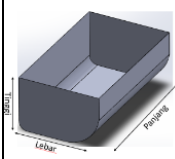
Gambar 1. Model Konseptual Studi.

2.2 Simulasi Static Structural

Metode *multi-factor experimental design* memiliki 2 tahapan proses yang harus dilalui yaitu *finite element method* dan uji statistik. *Finite element method* dilakukan dengan menggunakan simulasi yang disesuaikan kepada kebutuhan desain. Dan pada studi ini yang dibutuhkan adalah analisis dari struktural desain. Pada gambar 2 dapat dilihat langkah-langkah atau skema pengerjaan simulasi. Tujuan dari analisis struktural dapat dilihat dari perspektif teoritis dan juga perspektif praktik. Dari sudut pandang teoritis tujuan utama dari analisis struktural adalah nilai perhitungan deformasi, kekuatan (*internal forces*), dan tekanan (*stress*). Dalam praktiknya, analisis ini digunakan untuk mengungkapkan kinerja struktural dari desain dan memastikan kesehatan integritas struktural dalam desain tanpa bergantung pada uji coba langsung. Sedangkan secara pengertian analisis struktural merupakan studi yang terdiri dari beberapa teori mekanika yang mematuhi hukum-hukum fisika yang diperlukan untuk memprediksi perilaku struktur desain [4]. Untuk melakukan simulasi diperlukan 3D model yang telah dibuat berdasarkan parameter desain yang telah ditentukan. Pada tabel 1 dapat diketahui bahwa parameter bentuk, dimensi, dan material secara berturut-turut memiliki tingkat level sebanyak 3, 3, dan 4 level.

Tabel 1 Parameter Desain.

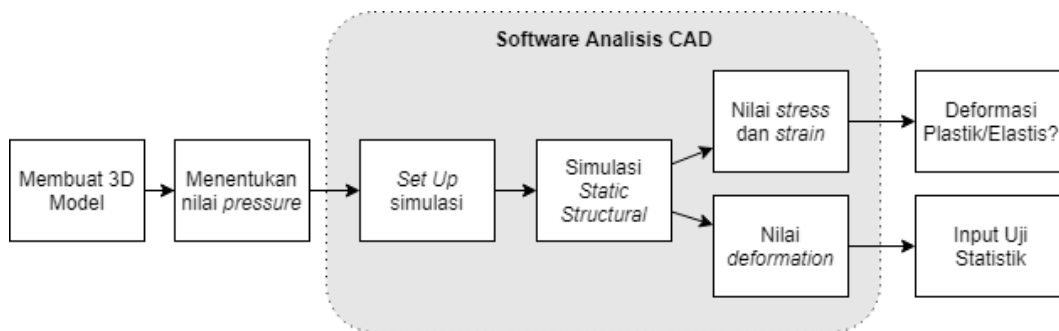
No.	Bentuk Badan	Dimensi (mm)			Material		
		P	L	T	Nama	Density < 7800 (kg/m3)	Yield Strength > 50 (MPa)
1		3300	1800	1200	Stainless Steel	7750	210
2		3000	1600	1100	Aluminium Alloy	2770	280

3		3200	1900	1000	Polypropylene	910	55
					Polyethylene	950	91

Selain itu juga penting untuk mengetahui berapa nilai gaya dan tekanan yang akan diaplikasikan terhadap 3D model menggunakan persamaan (1) dan persamaan (2). Hal ini dikarenakan beban yang diberikan terhadap permukaan yang menerima pembebanan tidak terdistribusi merata, sehingga beban yang tersebar pun bersifat *non-uniform* atau tidak seragam. Diketahui dari persamaan F merupakan gaya (*force*), m merupakan massa benda, dan a adalah percepatan gravitasi. Sedangkan P adalah tekanan (*pressure*) dengan A sebagai luas permukaan yang terkena beban (*load*). Dapat dilihat pada Tabel 2 nilai input *pressure* dari masing-masing konsep desain.

$$F = m \times a \dots\dots (1) \quad P = \frac{F}{A} \dots\dots(2)$$

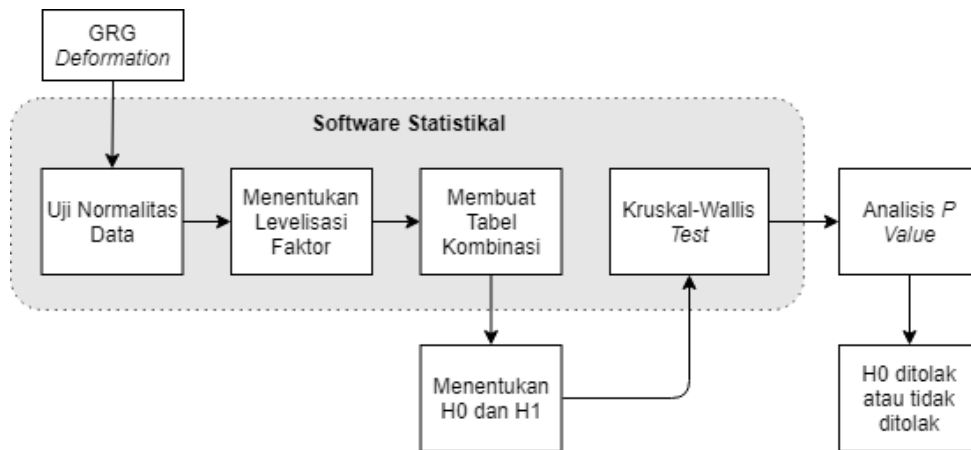
Setelah mengetahui nilai *pressure* yang harus dimasukkan di simulasi, selanjutnya perlu diatur *set up* simulasi mulai dari *material properties* hingga hasil akhir yaitu *stress*, *strain* dan deformasi. Dan dari hasil ini akan dapat dianalisis apakah deformasi yang terjadi terhadap konsep desain merupakan deformasi plastik atau deformasi elastik. Analisis ini dilakukan dengan melihat apakah nilai *stress* dan *strain* yang dihasilkan melebihi *yield point* atau *yield strength* material. Selain itu nilai deformasi terkecil juga dapat ditunjukkan dari hasil simulasi dan konsep desain yang memiliki nilai deformasi terkecil ini merupakan konsep desain yang terpilih.



Gambar 2. Skema Pengerjaan Simulasi.

2.3 Uji Statistik

Setelah melakukan simulasi yang menghasilkan output nilai deformasi, selanjutnya data akan diolah secara statistik untuk melihat apakah parameter desain bentuk, dimensi dan material memiliki pengaruh terhadap nilai deformasi. Namun untuk mengetahui uji statistik apa yang cocok untuk digunakan, perlu dilakukan uji normalitas data terlebih dahulu. Pada gambar 2 dapat dilihat skema pengerjaan uji statistik. Untuk data berdistribusi tidak normal, dapat menggunakan uji *Kruskal-Wallis*. Uji *Kruskal-Wallis* memiliki prinsip kerja yang sama dengan *one way ANOVA* namun tanpa mengindahkan normalitas data. Sehingga nilai signifikansi dari parameter yang dihasilkan merupakan nilai yang independen antar variabel independennya, tanpa interaksi antar variabel ini. Tingkat kepercayaan yang digunakan adalah 95% dan $\alpha = 0.05$.



Gambar 3. Skema Pengerjaan Uji Statistik

3. Pembahasan

3.1. Simulasi *Static Structural*




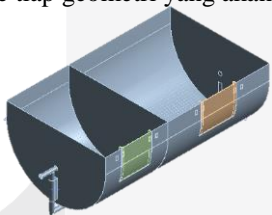



Setelah membuat 3D model sesuai kebutuhan dan spesifikasi parameter desain, perlu ditentukan nilai *pressure* yang akan digunakan sebagai input simulasi yang dapat dilihat pada Tabel 2 dan juga melakukan *set up* simulasi yang dapat dilihat pada Tabel 3.

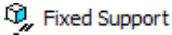
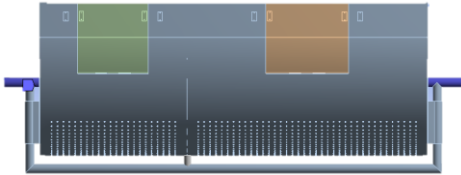
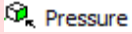
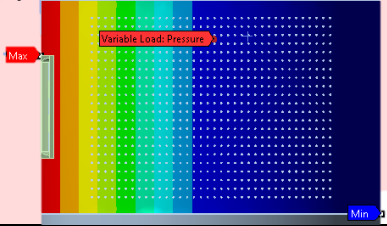
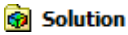
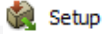
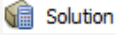
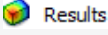
Tabel 2. Input *Pressure* Simulasi Struktural.

Konsep Desain	<i>Pressure</i> Ruang Kecil (MPa)	<i>Pressure</i> Ruang Besar (MPa)
1A	0.00046	0.00074
1B	0.00073	0.00052
1C	0.00051	0.00063
2A	0.00069	0.00093
2B	0.00072	0.00082
2C	0.00076	0.00094
3A	0.00067	0.00109
3B	0.00070	0.00097
3C	0.00073	0.00090

Set up simulasi *static structural* yang akan dilakukan harus mengikuti beberapa langkah yang ditunjukkan pada Tabel 3. Dimana perlu ditentukan material yang akan digunakan pada studi dibagian *engineering data*, input simulasi, pengaturan *meshing*, dan *analysis setting* untuk mendapatkan nilai yang kita inginkan pada bagian *solution*.

Tabel 3. Langkah-langkah *Set Up* Simulasi.

No	Tampilan	Keterangan
1	 Engineering Data	Memilih atau memasukkan material dan <i>properties</i> yang dibutuhkan untuk analisis simulasi.
2	 Geometry	Memasukkan 3D model yang telah dibuat.
3	 Model	<p><i>Loading</i> 3D model dan memasukkan material yang telah dipilih ke tiap geometri yang akan dianalisis.</p> 
	 Connections	Pengaturan kontak setiap geometri 1 terhadap geometri lainnya, jenis hubungan dan metode untuk mendeteksi kontak yang digunakan.
	 Mesh	Melakukan <i>meshing</i> dengan mengatur <i>mesh</i> yang akan diterapkan terhadap geometri. Ketepatan penggunaan <i>mesh</i> merupakan fondasi awal dari <i>engineering simulation</i> .
	 Analysis Settings	Menentukan <i>step</i> yang akan dilakukan saat simulasi pada bagian <i>step controls</i> dan mengatur <i>solver controls</i> .

			<p>Menentukan dan memilih face dari geometri yang dijadikan sebagai <i>fixed support</i>.</p> 
			<p>Mengatur nilai tekanan yang diberikan terhadap geometri dengan beban terpusat di sepanjang <i>face</i> geometri yang terkena tekanan.</p> 
			<p>Menentukan <i>output</i> apa yang ingin diketahui dan dianalisis setelah <i>setting input</i> yang dilakukan diatas, seperti total deformasi, <i>equivalent stress</i>, dan <i>equivalent total strain</i>.</p>
4			<p>Bagian ini akan otomatis dilakukan ketika <i>running simulation</i> dan segala kebutuhan <i>set up</i> terpenuhi.</p>
5			<p>Bagian ini akan otomatis dilakukan. Terdiri atas <i>set up solution</i> yang dilakukan pada tahapan model.</p>
6			<p>Menunjukkan hasil akhir analisis seperti misalnya <i>total deformation</i>, <i>equivalent stress</i> dan <i>equivalent total strain</i> dan <i>report preview</i> dari simulasi yang dilakukan.</p>

Setelah melakukan *set up* simulasi dapat dijalankan dan output nilai yang diinginkan yaitu nilai deformasi. Hasil deformasi ini dapat dilihat pada Tabel 4 dan Gambar 4. Dari hasil simulasi ini didapatkan bahwa konsep desain ke-9 yaitu kombinasi dari bentuk pertama, dimensi ketiga, dan material pertama merupakan konsep desain yang paling optimal karena memiliki nilai deformasi terkecil dan ditunjukkan pada perhitung GRG berada di peringkat 1 dengan *grade 1*. *Grade 1* ini berarti nilai *reference sequence* dan *comparability sequence* identikal. *Grey relational analysis* (GRA) dengan output berupa nilai GRG ini digunakan dikarenakan dilakukan 2 simulasi berbeda untuk *part* bodi dan *part* penyangga. Sehingga output yang dihasilkan adalah 2 nilai deformasi. Untuk menyatukan kedua output yang memiliki input berbeda ini maka digunakan GRA.

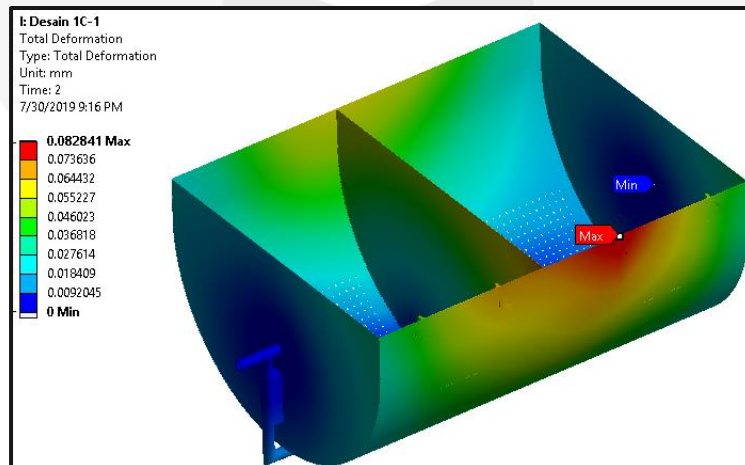
Tabel 4. GRG Deformation

No	Grey Relational Grade (GRG)	Rank
1	0.997	4
2	0.988	13
3	0.666	24
4	0.706	23
5	0.997	3
6	0.988	12
7	0.751	21
8	0.795	19
9	1.000	1
10	0.995	5
11	0.747	22

Tabel 4. GRG Deformation (Lanjutan)

No	Grey Relational Grade (GRG)	Rank
12	0.790	20
13	0.995	6
14	0.981	14
15	0.427	32
16	0.501	27
17	0.994	7
18	0.980	15
19	0.420	33
20	0.495	28
21	0.993	9
22	0.978	17
23	0.397	35
24	0.469	29
25	0.993	10
26	0.977	18
27	0.394	36
28	0.465	30
29	0.994	8
30	0.979	16
31	0.412	34
32	0.449	31
33	0.997	2
34	0.988	11
35	0.534	26
36	0.614	25

Pada Gambar 4 dapat dilihat visualisasi *deformation* yang terjadi terhadap konsep desain ke-9 atau kombinasi parameter 1C bermaterial *stainless steel* dengan nilai maksimum *deformation* adalah sebesar $8,284 \times 10^{-2}$ mm dan nilai minimum sebesar 0 mm. Warna merah hingga warna biru yang ditunjukkan pada gambar menandakan area yang terkena deformasi masi paling besar hingga paling kecil.



Gambar 4. Tampak Hasil Total Deformation Konsep Desain Terpilih

3.2. Uji Statistik

Setelah dilakukan analisis *grey relational* dengan output nilai GRG deformasi, selanjut data ini akan diuji normalitasnya menggunakan tes *Kolgomorov-Smirnov*. Didapatkan hasil bahwa data berdistribusi tidak normal. Oleh karena itu akan digunakan uji *Kruskal-Wallis* yang tidak mengindahkan normalitas data, untuk melihat parameter desain mana yang memiliki pengaruh signifikan terhadap deformasi. Sebelum memasuki tahap uji *Kruskal-Wallis*, harus ditentukan asumsi terhadap H_0 dan H_1 . Asumsi ini akan menggunakan tingkat kepercayaan sebesar 95% sehingga nilai $\alpha = 0.05$.

H_0 : Ketiga parameter tidak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kekuatan (*robust*) desain.

H_1 : Minimal terdapat satu parameter yang berpengaruh signifikan terhadap kekuatan (*robust*) desain.

Daerah Kritis : H_0 ditolak jika nilai *P-Value* $\leq \alpha$, dimana $\alpha = 0.05$.

Pada tabel 5 ditunjukkan nilai signifikansi variabel *independent* parameter bentuk terhadap variabel *dependent* deformasi dengan nilai *P-Value* = 0.165. Sehingga diketahui bahwa *P-Value* parameter bentuk 0.165 $> \alpha$ 0.05. Yang berarti parameter bentuk tidak berpengaruh signifikan terhadap nilai deformasi.

Tabel 5. Uji *Kruskal-Wallis* Parameter Bentuk.

Bentuk	N	Median	Average Rank	Z
1	12	0.8915	23.2	1.90
2	12	0.7395	16	-1.02
3	12	0.7955	16.3	-0.87
Overall	36		18.5	

$$H = 3.61 \text{ DF} = 2 \text{ P} = 0.165$$

Pada tabel 6 ditunjukkan nilai signifikansi variabel *independent* parameter dimensi terhadap variabel *dependent* deformasi dengan nilai *P-Value* = 0.842. Sehingga diketahui bahwa *P-Value* parameter bentuk 0.842 $> \alpha$ 0.05. Yang berarti parameter dimensi tidak berpengaruh signifikan terhadap nilai deformasi.

Tabel 6. Uji *Kruskal-Wallis* Parameter Dimensi.

Dimensi	N	Median	Average Rank	Z
1	12	0.8415	17.5	-0.40
2	12	0.8870	18.1	-0.17
3	12	0.8840	19.9	0.57
Overall	36		18.5	

$$H = 0.34 \text{ DF} = 2 \text{ P} = 0.842$$

Pada tabel 7 ditunjukkan nilai signifikansi variabel *independent* parameter material terhadap variabel *dependent* deformasi dengan nilai *P-Value* = 0.000. Sehingga diketahui bahwa *P-Value* parameter bentuk 0.000 $< \alpha$ 0.05. Yang berarti parameter material berpengaruh signifikan terhadap nilai deformasi.

Tabel IV. 1 Uji *Kruskal-Wallis* Parameter Material.

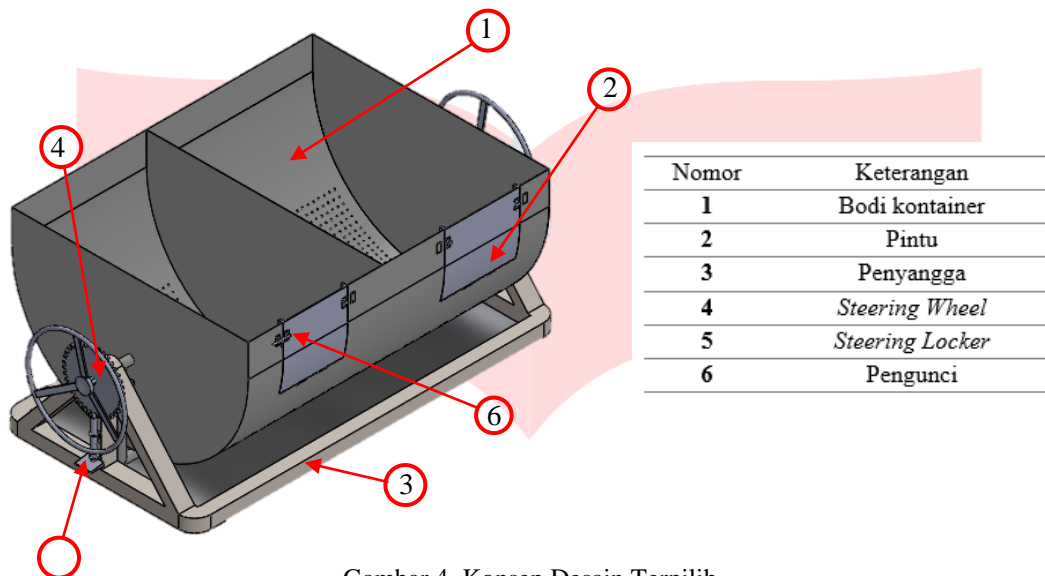
Material	N	Median	Average Rank	Z
1	9	0.9950	31.5	4.27
2	9	0.9810	23.5	1.64
3	9	0.4270	7.8	-3.53
4	9	0.5010	11.2	-2.39
Overall	36		18.5	

$$H = 29.39 \text{ DF} = 3 \text{ P} = 0.000$$

Berdasarkan hasil uji *Kruskal-Wallis* diketahui bahwa **parameter material** secara statistik **berpengaruh signifikan** terhadap luaran desain dengan nilai *P-value* 0.000 < 0.05 . Sehingga dapat disimpulkan bahwa asumsi H_0 ditolak yaitu salah satu parameter desain berpengaruh terhadap kekuatan (*robust*) desain.

3.3. Konsep Desain Terpilih dan Parameter Signifikan

Berdasarkan hasil simulasi *static structural* didapatkan bahwa konsep desain ke-9 yaitu kombinasi bentuk pertama, dimensi ketiga, dan material pertama merupakan konsep desain yang terpilih karena memiliki nilai deformasi terkecil dan *ranking* tertinggi pada GRG. Sedangkan untuk parameter yang berpengaruh signifikan terhadap nilai GRG deformasi adalah parameter material dengan nilai *P-value* $0.000 < 0.05$.



Gambar 4. Konsep Desain Terpilih

Perancangan 3D model yang disimulasikan menggunakan *static structural* didapatkan dengan melewati beberapa proses yaitu penjabaran kebutuhan desain, penentuan fungsi desain dan penentuan parameter yang mempengaruhinya. Dari ketiga parameter yaitu bentuk, dimensi, dan material yang secara berturut-turut terdiri atas 3 level, 3 level, dan 4 level didapatkan 36 kombinasi konsep desain. Kombinasi konsep desain ini disimulasikan menggunakan *static structural* untuk diketahui nilai konsep desain yang memiliki nilai deformasi terkecil. Berdasarkan hasil simulasi didapatkan bahwa kombinasi parameter 1-C-1 yaitu bentuk pertama (setengah lingkaran), dimensi ketiga (2.8 m x 2.2 m x 1.4 m), dan material pertama (*stainless steel*) memiliki nilai deformasi terkecil dan GRG deformasi bernilai 1, yang menempati peringkat pertama. Kelebihan dari bentuk pertama yaitu setengah lingkaran dibandingkan bentuk kedua yaitu persegi, dan bentuk ketiga yaitu gabungan dari setengah lingkaran dan persegi adalah luas area permukaan yang terkena gaya paling besar jika dibandingkan dengan luas permukaan bentuk kedua dan ketiga. Dengan persamaan tekanan (1) dibawah ini, dapat dilihat bahwa luas permukaan yang terkena gaya akan mempengaruhi nilai tekanan. Sedangkan besarnya tekanan akan mempengaruhi nilai *stress* dan *strain*.

$$P = \frac{F}{A} \quad (1)$$

Hal ini menyebabkan nilai *F* (*force*) yang dihasilkan oleh bentuk pertama menjadi nilai *F* terkecil dibandingkan dengan 2 bentuk lainnya dan berujung pada nilai *stress* dan *strain* yang lebih kecil. Dikarenakan nilai *stress* dipengaruhi oleh luas permukaan yang terkena gaya (Chateauinois, 2000), sehingga semakin besar luas permukaan maka akan semakin kecil nilai *stress*. Selain dari itu hal ini dapat diilustrasikan secara lebih sederhana dengan Dan semakin kecil nilai *stress* maka akan semakin kecil pula nilai *strain* (Ling, Sanny, & Moebs, 2019).

Sedangkan untuk dimensi terpilih yaitu dimensi ketiga dengan spesifikasi panjang, lebar dan tingginya sebesar 2.8 x 2.2 x 1.4 meter. Dapat dibuktikan menggunakan rumus yang sama, nilai *force* yang dihasilkan oleh dimensi ketiga adalah nilai *force* yang paling kecil. Hal ini menyebabkan nilai *pressure* yang paling kecil pula dibandingkan 2 dimensi lainnya. Jika dibandingkan dengan kedua dimensi lainnya adalah jika dibandingkan antara luas permukaan yang terkena gaya, dimensi ketiga memiliki luas permukaan yang terkecil dibandingkan dimensi pertama dan kedua dengan bentuk desain yang digunakan adalah sama yaitu bentuk pertama. Namun jika dilihat dari segi volume, dimensi ketiga menghasilkan nilai volume paling besar dibandingkan volume lainnya sehingga hasil yang didapatkan berbanding lurus dengan hasil dari parameter bentuk.

Untuk parameter material yang terpilih adalah material *stainless steel*. Pada gambar V.1 dapat dilihat perbandingan antara grafik *stress-strain* yang dihasilkan dari simulasi terhadap grafik *stress-strain* material. Nilai dari simulasi struktural menunjukkan bahwa deformasi yang terjadi merupakan deformasi elastis, dikarenakan nilai *stress* maupun *strain* tidak melebihi *yield point*. Alasan lainnya adalah *material properties* yaitu *strength* pada material. Pada material *stainless steel* nilai *properties* ini lebih besar dibandingkan nilai *strength* pada *properties*

material *aluminium alloy*, *polyethylene*, dan *polypropylene*. Nilai *strength* pada material sangat mempengaruhi besar dan kecilnya nilai deformasi yang dihasilkan (Dzioba & Lipiec, 2016).

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengumpulan, pengolahan, dan juga analisis data berikut adalah beberapa kesimpulan yang didapatkan dari studi ini.

1. Metode *multi-factor experimental design* dapat digunakan untuk menentukan konsep desain dan juga mengoptimasi parameter design dengan melakukan *finite element analysis* dan juga uji statistik.
2. Pada eksekusinya *finite element analysis* dilakukan simulasi *static structural* terhadap setiap konsep desain dan didapatkan bahwa kombinasi 1-C-1 merupakan kombinasi yang paling optimal.
3. Pada uji non-parametrik yaitu *Kruskal-Wallis test* didapatkan bahwa parameter yang paling berpengaruh signifikan terhadap deformasi adalah parameter material.
4. Kebutuhan daya tampung kontainer (volume) dapat terpenuhi dari perancangan variasi dari parameter bentuk dan dimensi.
5. Kebutuhan desain *robust* (tidak terjadi deformasi plastik) dapat terpenuhi dengan melakukan simulasi *static structural* dan melihat grafik *stress-strain* pada konsep desain terpilih.

Daftar Pustaka:

- [1] M. A. Abdoli, M. Rezaei, And H. Hasanian, "Integrated Solid Waste Management In Indonesia," *Global Journal Environment Management*, Vol. 07, No. 8, Pp. 629–633, 2016.
- [2] Waste Management, "Waste Management Design Guidelines," 2016.
- [3] A. K. Dubey And V. Yadava, "Robust Parameter Design And Multi-Objective Optimization Of Laser Beam Cutting For Aluminium Alloy Sheet," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, Vol. 38, No. 3–4, Pp. 268–277, 2008.
- [4] S. Design, F. E. Method, And K. Chang, "Learn More About Structural Analysis Structural Analysis," 2013.
- [5] A. Chateauminois, *Fatigue And Tribological Properties Of Plastics And Elastomers*, Vol. 33, No. 2. 2000.
- [6] S. J. Ling, J. Sanny, And B. Moebs, "Tensile Or Compressive Stress , Strain , And Young ' S Modulus," No. Part 1, Pp. 1–5, 2019.
- [7] I. Dzioba And S. Lipiec, "Assessment Of The Critical Values Of Stress And Strain Of Mate- Rial On The Basis Of Analysis Of Uniaxial Tensile Test Data Eksploatacja I Testy," Pp. 54–57, 2016.