

UJI KELAYAKAN TEKNIS DESAIN CUSTOMIZE SHORT ARM CAST UNTUK MANGHASILKAN PRODUK YANG KUAT DAN MEMILIKI SIRKULASI UDARA YANG BAIK DENGAN MENGGUNAKAN FEM (*FINITE ELEMENT METHOD*)

TECHNICAL FEASIBILITY TEST THE CUSTOMIZE SHORT ARM CAST DESIGN TO PRODUCE STRONG PRODUCTS AND HAVE A GOOD CIRCULATION USING FEM (FINITE ELEMENT METHOD)

Ikhsan Rahmawan¹, Rino Andias Anugraha², Teddy Sjafrizal³

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

¹ikhsanrahmawan@student.telkomuniversity.ac.id, ²rinoandias@telkomuniversity.ac.id,

³teddvsjafrizal@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Diantara aplikasi pada bidang medis, *orthoses* atau alat yang dirancang untuk menstabilkan dan menahan gerak anggota tubuh manusia adalah salah satu penerapan AM yang sangat berguna karena dapat memberikan kinerja yang lebih baik ketika dibuat sesuai dengan bentuk tubuh pasien. Salah satu studi yang membahas penerapan AM pada bidang medis khususnya *orthosis* yaitu pada studi produk *customized short arm cast*. Pada produk tersebut belum dilakukan tahapan pengujian dan perbaikan. Untuk memastikan produk layak maka perlu dilakukan proses pengujian terhadap produk. Pengujian yang akan dilakukan pada desain produk *short arm cast* yang telah dihasilkan yaitu berupa simulasi untuk memastikan produk layak dari segi kekuatan apabila terkena gaya atau dampak dari luar sehingga produk tidak mengalami kerusakan, dan dilakukan simulasi untuk mengetahui apakah produk mempunyai sirkulasi udara yang baik untuk mencegah terjadinya iritasi pada kulit pengguna *cast*. Simulasi kekuatan dilakukan dengan menggunakan *finite element method* (FEM) dengan simulasi *structural* dan pada simulasi sirkulasi udara menggunakan *fluid flow*. Setelah dilakukan simulasi didapatkan hasil produk masih perlu dilakukan perbaikan dikarenakan terdapat deformasi sebesar 6,2940 dan 6,0054 serta FOS sebesar 1,1514, 1,2308, dan 1,9577 yang melebihi gap yang diperbolehkan yaitu sebesar 5mm dan FOS minimal 2. Dari hasil perbaikan yang kemudian dilakukan dilakukan pengujian, didapatkan desain dengan ketebalan 2,5mm dan lubang sirkulasi udara 10mm yang sudah teruji dari segi kekuatan dan sirkulasi udaranya.

Kata kunci: pengujian, short arm cast, simulasi, kelayakan produk, perbaikan

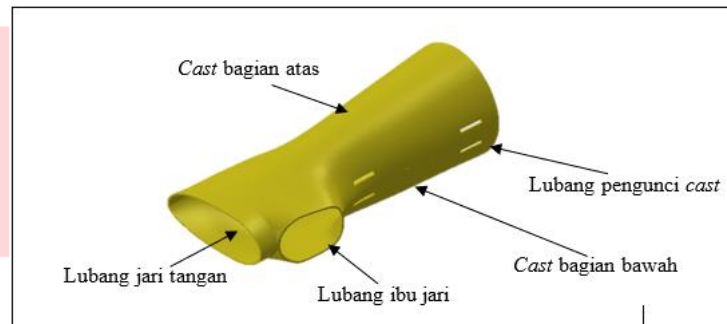
Abstract

Among the applications in the medical field, orthoses or devices designed to stabilize and retard the motion of human limbs is one application of AM which is very useful because it can provide better performance when made in accordance with the patient's body shape. A study that discusses the application of AM in the medical field, especially orthosis is the study of customized short arm cast product. The product has not done the testing and repair phase. To ensure the product is feasible, it is necessary to test the product. The test will be performed on the short arm cast product design that has been produced that is simulation to ensure the product feasible in terms of strength when exposed to the force or impact from outside so that the product is not damaged, and simulated to know whether the product has good air circulation to prevent the occurrence irritation on the skin of cast users. Simulation of product strength is done by using finite element method (FEM) with structural simulation and simulation of air circulation using fluid flow. After the simulation, the results of the product still need improvement due to the deformation of 6.2940 and 6.0054 and the FOS of 1.1514, 1.2308, and 1.9577 which exceeds the allowed gap of 5mm and FOS minimum 2. From the results of the improvements are then carried out the test, obtained a design with a thickness of 2.5 mm and 10mm air circulation holes that have been tested in terms of strength and air circulation.

Keywords: testing, short arm cast, simulation, product feasibility, improvement

1. Pendahuluan

Diantara aplikasi pada bidang medis, *orthoses* atau alat yang dirancang untuk menstabilkan dan menahan gerak anggota tubuh manusia cukup menarik perhatian sebagai penerapan AM yang sangat berguna karena dapat memberikan kinerja yang lebih baik ketika dibuat sesuai dengan bentuk tubuh pasien [1]. Salah satu studi yang membahas penerapan AM pada bidang medis khususnya *orthosis* yaitu studi yang dilakukan oleh Ardiyanti (2018) yang menghasilkan rancangan produk *short arm cast*. Produk tersebut dimaksudkan untuk membantu menyangga tangan yang patah, produk tersebut dikhususkan untuk patah tangan dengan kasus *simple fracture*.

Gambar 1 Produk *Short arm cast*

Pada 6 fase proses perancangan dan pengembangan produk, terdapat tahapan pengujian dan perbaikan. Tahap ini dilakukan setelah perancangan rinci berupa bentuk, dimensi, material, dan karakteristik produk lainnya sudah dihasilkan [2]. Salah satu sifat yang paling penting pada *cast* yaitu rigidity terhadap guncangan external, dalam contoh kasus adalah dimana pasien yang memakai *cast* secara tidak sengaja menabrak objek lain [3]. Untuk memastikan produk layak maka perlu dilakukan proses pengujian terhadap produk.

Terdapat dua macam dalam pengujian, yaitu eksperimen dan simulasi. Penggunaan simulasi adalah pendekatan yang lebih mudah dan murah dibandingkan dengan melakukan eksperimen. Dengan adanya simulasi jumlah eksperimen yang dilakukan dapat dikurangi bahkan dalam kasus khusus eksperimen tersebut dapat ditiadakan karena tidak memungkinkan untuk dilakukan karena tingkat kesulitan, keterbatasan biaya, dan juga keterbatasan waktu.

Pengujian yang akan dilakukan pada desain produk *short arm cast* yang telah dihasilkan yaitu berupa simulasi untuk memastikan produk layak dari segi kekuatan dan sirkulasi udara pada produk. Pada simulasi kekuatan akan dilakukan dengan menggunakan finite element method (FEM) dengan simulasi *structural* dengan hasil berupa deformasi, *stress*, dan Fos Analisis stress digunakan untuk mengetahui seberapa kuat produk dalam menahan gaya yang diberikan. Analisis deformasi digunakan untuk mengetahui seberapa jauh produk terjadi perubahan bentuk akibat gaya yang diberikan [4]. FEM pada simulasi sirkulasi udara akan menggunakan *fluid flow*. Apabila setelah dilakukan simulasi dan hasil menunjukkan tidak layak maka akan dilakukan perbaikan pada desain *short arm cast* untuk menghasilkan desain produk yang layak dan teruji dari segi kekuatan dan sirkulasi udaranya.

2. Dasar Teori Perancangan

2.1 Additive Manufacture (AM)

Additive Manufacturing adalah proses pembuatan tiga dimensi benda padat berdasarkan file digital. Aditif manufaktur dicapai dengan menggunakan proses aditif, dimana sebuah objek dibuat dengan meletakkan lapisan yang berurut berasal dari bahan tertentu. Teknik additive manufacturing yang digunakan pada penelitian kali ini adalah *fused deposition modeling* (FDM) karena paling terjangkau dari segi harga mesin dan harga bahan materialnya.

Keuntungan utama untuk menggunakan FDM adalah bagian yang sangat tebal lama yang dapat dibuat dengan menggunakan lilin dan berbagai jenis rekayasa plastik. Kelemahan menggunakan metode FDM adalah bahwa pada umumnya komponen-komponen dibuat dengan memakan waktu yang lebih lama dan lapisan terlihat cukup jelas karena jenis proses ekstrusi [5].

2.2 *Short arm cast*

Short arm cast merupakan salah satu jenis dari *cast immobilization* yaitu sebuah alat yang digunakan untuk membantu menghentikan dislokasi sendi dan dislokasi tulang sehingga *cast immobilization* dapat membantu dalam pemulihan fraktur atau patah tulang. *Short arm cast* sendiri digunakan untuk kasus patah tulang *simple fracture* produk tersebut dimaksudkan untuk membantu menyangga tangan yang patah, produk tersebut dikhususkan untuk patah tangan dengan kasus *simple fracture* dimana *Simple Fracture* secara umum dikenal sebagai fraktur biasa, atau fraktur tertutup (meskipun pada kenyataannya fraktur tertutup tidak selalu fraktur sederhana). Fraktur sederhana hanya melibatkan tulang dan jaringan lunak di sekitar daerah terjadinya patah. Tidak ada kulit terluka, tidak melibatkan saraf ataupun pembuluh darah [6]

2.4 Finite Element Method (FEM)

Finite element method (FEM) adalah sebuah metode yang dapat digunakan untuk memecahkan masalah *engineering* dan *mathematical physics*. Masalah yang termasuk dalam ruang lingkupnya diantaranya lain *Structural analysis*, *heat transfer*, *fluid flow*, *mass transport*, dan *electromagnetic potential*. *Finite element method* (FEM) memungkinkan untuk mendiskritisasi geometri rumit pada part menjadi volume/luas sederhana yang kecil yang disebut elemen hingga, proses diskritisasi ini disebut *meshing*.

Semua paket perangkat lunak yang berbasis *finite element method* ini memiliki suatu keasamaan alur kerja dan tahap dasar yang harus dilakukan. Perangkat lunak FEM memiliki tiga tahapan utama yang harus dilewati. Tahapan tersebut adalah *preprocessor*, *processor*, dan *postprocessor* tersebut [7]

- Preprocessor adalah tahap dimana pengguna harus memodelkan geometri solid body, menetapkan sifat material, dan menerapkan gaya eksternal.
- Processor adalah tahap dimana pentransformasian model solid body yang telah dibuat pada tahap preprocessor menjadi sebuah model elemen hingga, atau biasa disebut proses meshing. Pada tahap ini juga perangkat lunak dengan otomatis menghitung dan menyelesaikan persamaan matematis dari FEM, sehingga peranan pengguna menjadi pasif pada tahap ini.
- Postprocessor adalah tahap dimana perangkat lunak menghasilkan hasil tahapan processor dengan bentuk visual maupun numerik yang nantinya akan dianalisis oleh pengguna baik dari nilai factor of safety, distribusi temperatur, gradien termal, fluks termal, dls.

3. Pembahasan

3.1 Pengolahan Data FEM (Finite Element Method) structural analysis

Untuk mendapatkan hasil pengolahan data dilakukan beberapa skenario simulasi guna mendapatkan banyak hasil untuk menjadi acuan dilakukannya perbaikan dan improvement pada produk *Short Arm Cast*. Berikut hasil yang didapatkan setelah dilakukan simulasi:

Tabel 1 Hasil simulasi *structural*

Skenario	Maximum Deformation (mm)	Maximum Equivalent Stress (MPa)	Minimum Safety Factor
1	0,3003	9,86960	3,8603
2	1,9090	11,17400	3,4098
3	6,2940	33,09100	1,1514
4	6,0054	30,95400	1,2308
5	1,5265	19,46200	1,9577
6	1,6182	9,45060	4,0508
7	1,5989	10,18900	3,7395

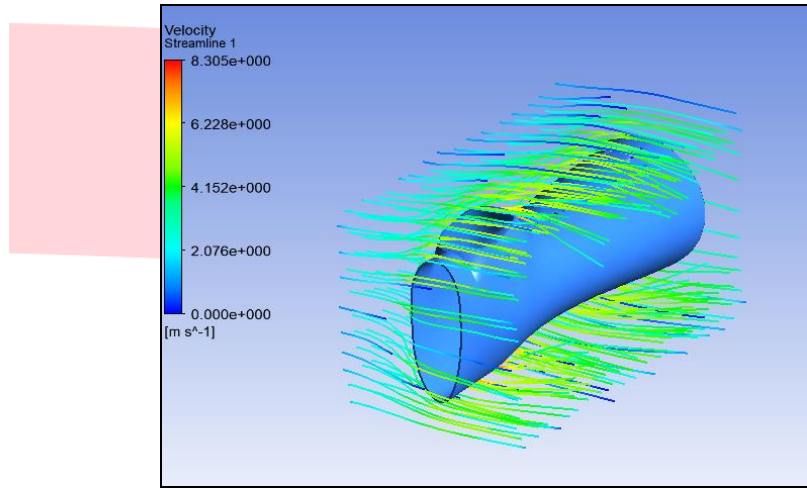
Hasil pengolahan tersebut didapatkan setelah melakukan simulasi pada produk dengan beberapa skenario kondisi yang berbeda, pada penelitian yang telah dilakukan sebelumnya dikatakan bahwa gap maksimum dan minimum yang boleh terjadi pada produk *Short Arm Cast* adalah sebesar 5mm. Setelah dilakukan pengolahan data dengan metode FEM (Finite Element Method) didapatkan hasil defromasi atau perubahan bentuk produk pada skenario 3 dan skenario 4 melebihi gap yang diperbolehkan. Dari hasil *equivalent stress* yang dihasilkan tidak melebihi *yield strength* material PLA yaitu sebesar 38,1 MPa sehingga tidak terdapat masalah pada stress yang dialami oleh produk. Dari segi safety factor yang dihasilkan terdapat safety factor yang berada dibawah standard yaitu pada skenario 3, skenario 4, dan skenario 5, dimana minimum safety factor adalah 2.

Dari hasil analisis pengolahan data yang dilakukan menunjukkan bahwa pada desain produk *short arm cast* yang telah dibuat pada penelitian sebelumnya masih belum layak sehingga diperlukan adanya perbaikan terhadap desain dari segi kekuatan produk dikarenakan terjadi deformasi yang melebihi standard yang diperbolehkan dan juga terdapat safety factor yang berada di bawah batas minimum pada beberapa skenario.

3.2 Pengolahan Data FEM (Finite Element Method) fluidflow analysis

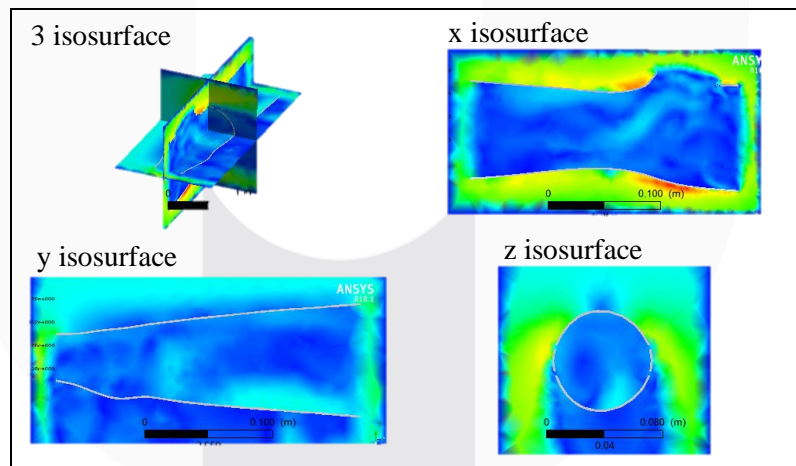
Setelah dilakukan pengolahan data dengan menggunakan metode *fluidflow analysis* didapatkan hasil sebagai berikut:

1. Pada hasil simulasi yang berupa *streamline* dapat terlihat bahwa aliran udara hanya melewati bagian luar dari prduk *Short Arm Cast* dikarenakan tidak lbang sirkulasi udara yang ada pada produk.



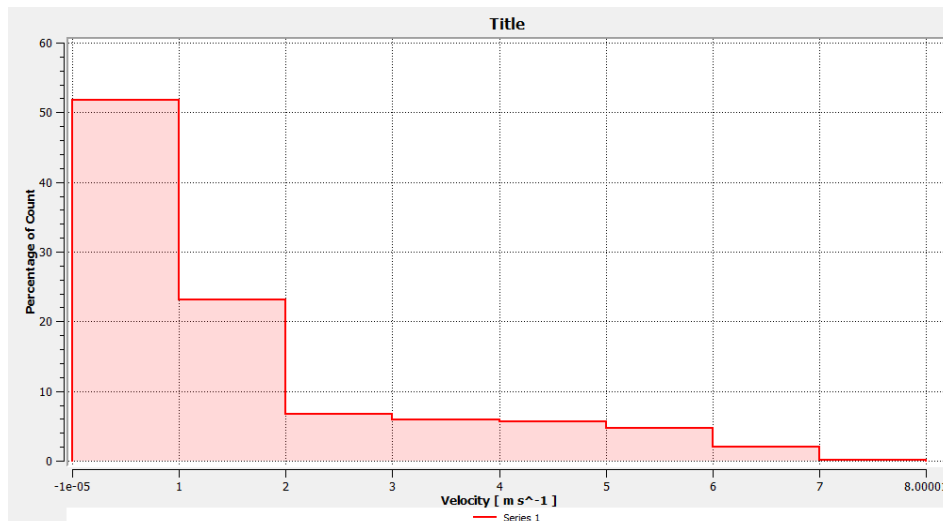
Gambar 2 Hasil *Streamline*

2. Dari hasil yang ditampilkan dengan bentuk *Isosurface* dapat terlihat udara yang bergerak pada bagaian dalam dan luar cast dimana pada bagian dalam produk udara bergerak cukup lambat yang ditandai dengan warna biru dikarenakan udara hanya diam di bagian dalam saja dan tidak ada udara yang masuk atau keluar dari produk



Gambar 3 Hasil *isosurface*

3. Dari hasil yang ditampilkan pada grafik dapat dilihat persentase terbesar *velocity* yang dihasilkan kurang dari 1 m/s, hal ini dikarenakan udara tidak dapat keluar masuk dari produk karena tidak adanya sirkulasi sehingga udara hanya bergerak dengan lamban di dalam produk.

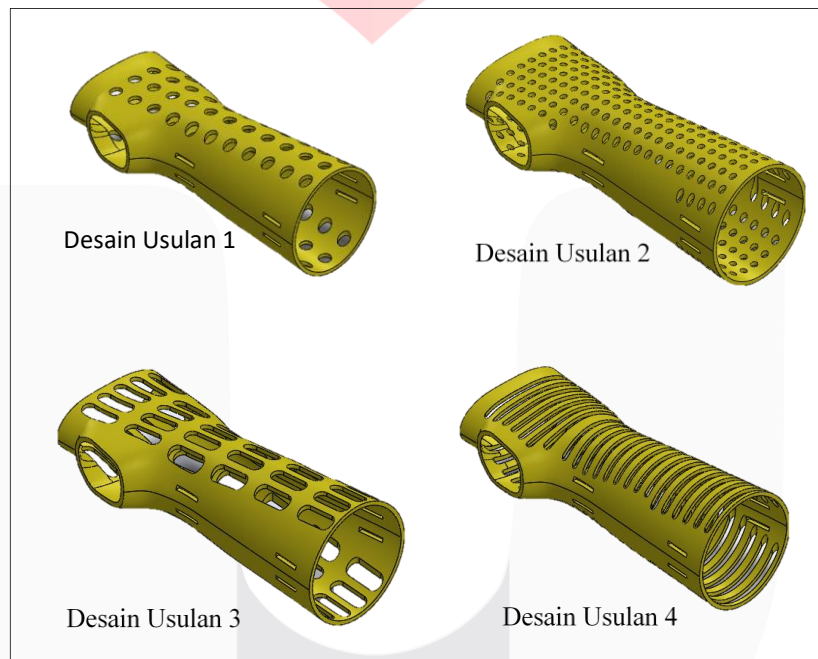


Gambar 4 Grafik *air velocity*

Dari hasil analisis pengolahan data yang dilakukan menunjukkan bahwa pada desain produk *short arm cast* yang telah dibuat pada penelitian sebelumnya masih belum layak dikarenakan tidak adanya sirkulasi udara pada produk sehingga udara tidak dapat masuk kedalam *cast*, hal ini menyebabkan masalah pada kulit pengguna.

3.3 Desain Usulan

Pada desain sebelumnya perlu dilakukan perbaikan dari segi kekuatan produk dan dari segi sirkulasi udara pada produk. Untuk kekuatan produk dapat dilakukan dengan menambah ketebalan dari produk dan untuk sirkulasi udara dapat dilakukan dengan cara menambahkan lubang sirkulasi udara pada produk *Short Arm Cast*. Oleh karena itu penulis membuat beberapa opsi desain perbaikan yang telah diberikan *improvement* dari segi ketebalan dan menambahkan lubang untuk sirkulasi udara pada produk.



Gambar 5 Desain Usulan

Pada desain usulan nantinya akan dilakukan pengolahan data seperti yang dilakukan pada desain sebelumnya dimana hasil dari masing masing desain usulan nantinya akan dibandingkan dan dipilih desain yang terbaik, dengan pertimbangan produk yang terpilih adalah desain yang layak dan sudah sesuai dengan standard yang ditentukan.

3.4 Desain Usulan 1

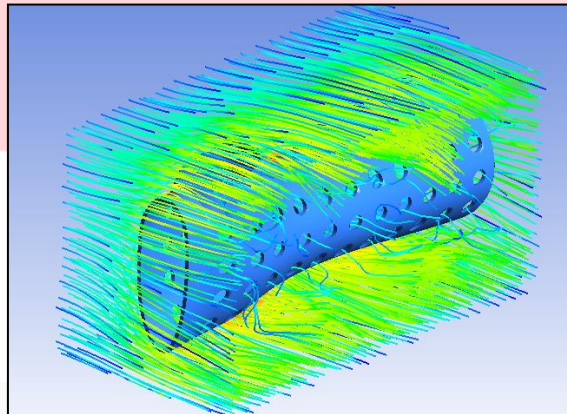
Pada desain usulan 1 *improvement* yang dilakukan adalah menambah ketebalan produk dari produk sebelumnya dan menambahkan lubang sirkulasi udara dengan bentuk lingkaran berdiameter 10mm, ketebalan yang digunakan adalah 2mm, 2,5mm, dan 3mm. Selanjutnya dilakukan simulasi FEM untuk mengetahui pada ketebalan berapakah produk tersebut dapat dikatakan layak, berikut adalah hasil data yang telah disimulasikan.

Tabel 2 Hasil desain Usulan 1

Ketebalan	Skenario	Deformation (mm)	Equivalent stress (MPa)	Safety Factor
2,5mm	1	0,069557	3,9983	9,5291
	2	0,46472	4,1632	9,1516
	3	3,4548	17,83	2,1369
	4	3,3922	18,116	2,1031
	5	0,41381	7,8821	4,8337
	6	0,77272	4,5	8,4666
	7	0,70623	4,0782	9,3423

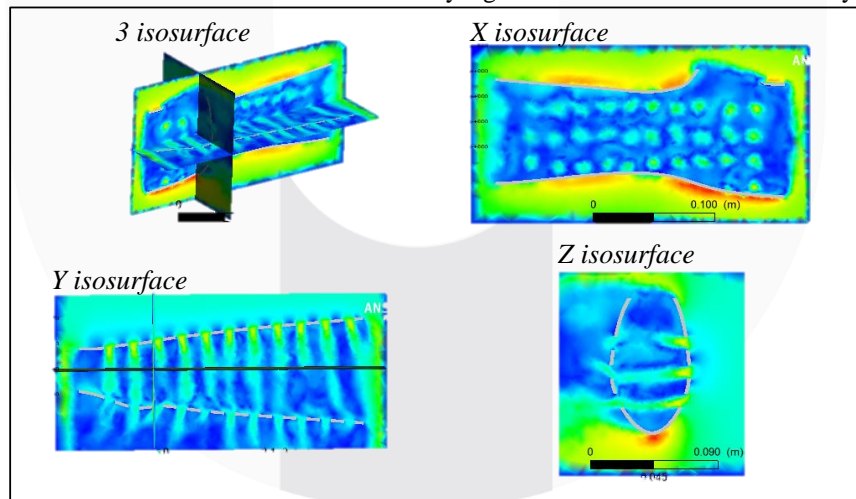
Pada ketebalan 2,5mm desain usulan 1 dari hasil simulasi sudah dikatakan desain tersebut layak karena tidak ada deformasi yang melebihi 5mm, *equivalent stress* tidak melebihi batas yang diperbolehkan untuk material PLA yaitu 38,1MPa, dan memenuhi safety factor minimum yaitu 2. Setelah dinyatakan layak dari segi kekuatan produk, selanjutnya dilakukan simulasi untuk mengetahui sirkulasi udara pada produk menggunakan CFD agar dapat mengetahui apakah pada desain usulan memiliki sirkulasi udara yang lebih baik dari produk sebelumnya. Berikut adalah hasil simulasi yang telah dilakukan:

Dari streamline yang dihasilkan dibandingkan dengan desain sebelumnya pada desain usulan 1 udara terlihat dapat melewati *short arm cast*, sedangkan pada desain sebelumnya udara tidak dapat menembus produk karena tidak adanya lubang sirkulasi udara.



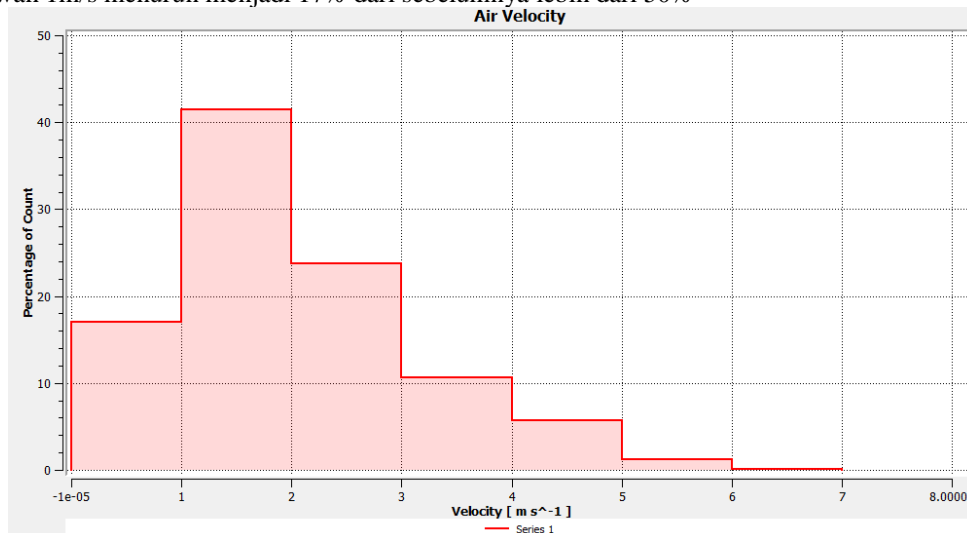
Gambar 6 Hasil *Streamline* Desain usulan 1

Dari hasil simulasi sirkulasi udara dengan *tampilan isosurface* dimana dapat terlihat aliran udara yang mengalir dari penampang sumbu x, y, dan z warna yang terlihat mewakili kecepatan perpindahan udara pada produk *Short Arm Cast*. Dapat dilihat pada bagian dalam *Short Arm Cast* terdapat pergerakan udara, hal ini menunjukkan pada desain usulan 1 memiliki sirkulasi udara yang lebih baik dari desain sebelumnya.



Gambar 7 hasil *isosurface* desain usulan 1

Setelah dilakukan penambahan berupa lubang sirkulasi udara dapat terlihat presentase udara yang bergerak lambat dibawah 1m/s menurun menjadi 17% dari sebelumnya lebih dari 50%



Gambar 8 hasil grafik *air velocity* desain usulan 1

3.5 Desain Usulan 2

Pada desain usulan 2 improvement yang dilakukan adalah menambah ketebalan produk dari produk sebelumnya dan menambahkan lubang sirkulasi udara dengan bentuk lingkaran berdiameter 1mm, ketebalan yang digunakan adalah 2mm, 2,5mm, dan 3mm, Selanjutnya dilakukan simulasi FEM untuk mengetahui pada ketebalan berapakah produk tersebut dapat dikatakan layak, berikut adalah hasil data yang telah disimulasikan:

Tabel 3 Hasil simulasi desain usulan 2

Ketebalan	Skenario	Deformation (mm)	Equivalent stress (MPa)	Safety Factor
3mm	1	0,059119	2,5995	14,657
	2	0,34079	3,2359	11,774
	3	3,00076	30,125	1,2647
	4	2,9537	27,401	1,3905
	5	0,31808	5,7037	6,6799
	6	0,6434	4,5864	8,3072
	7	0,60455	4,5447	8,3834

Pada design usulan 2 dengan ketebalan 3mm masih dikatakan tidak layak dikarenakan pada skenario 3 dan skenario 4 safety factor yang dihasilkan masih berada dibawah standar yang diperbolehkan yaitu sebesar 2, sehingga pada desain usulan 2 tidak dilakukan simulasi sirkulasi udara pada produk dikarenakan produk tersebut tidak layak dari segi kekuatan produk.

3.6 Desain Usulan 3

Pada desain usulan 3 improvement yang dilakukan adalah menambah ketebalan produk dari produk sebelumnya dan menambahkan lubang sirkulasi udara dengan bentuk slot, ketebalan yang digunakan adalah 2mm, 2,5mm, dan 3mm, Selanjutnya dilakukan simulasi FEM untuk mengetahui pada ketebalan berapakah produk tersebut dapat dikatakan layak, berikut adalah hasil data yang telah disimulasikan:

Tabel 4 Hasil simulasi desain usulan 3

Ketebalan	Skenario	Deformation (mm)	Equivalent stress(MPa)	Safety Factor
3mm	1	0,090098	3,1178	12,22
	2	0,43321	3,6674	10,389
	3	5,0732	27,371	1,392
	4	4,9568	25,998	1,4655
	5	0,39723	5,5359	6,8824
	6	0,873	6,0279	6,3206
	7	0,80289	5,4089	7,0439

Pada design usulan 3 dengan ketebalan 3mm masih dikatakan tidak layak dikarenakan pada skenario 3 terdapat deformasi yang melebihi Batasan yang diperbolehkan dan pada skenario 3 dan skenario 4 safety factor yang dihasilkan masih berada dibawah standar yang diperbolehkan yaitu sebesar 2, sehingga pada desain usulan 3 tidak dilakukan simulasi sirkulasi udara pada produk dikarenakan desain tersebut tidak layak dari segi kekuatan produk.

3.7 Desain Usulan 4

Pada desain usulan 4 improvement yang dilakukan adalah menambah ketebalan produk dari produk sebelumnya dan menambahkan lubang sirkulasi udara dengan bentuk slot, ketebalan yang digunakan adalah 2mm, 2,5mm, dan 3mm, Selanjutnya dilakukan simulasi FEM untuk mengetahui pada ketebalan berapakah produk tersebut dapat dikatakan layak, berikut adalah hasil data yang telah disimulasikan:

Tabel 4 Hasil simulasi desain usulan 4

Ketebalan	Skenario	Deformation (mm)	Equivalent stress (MPa)	Safety Factor
3mm	1	0,10363	3,7663	10,116
	2	0,9558	7,3144	5,2089
	3	32,833	210,73	0,1808
	4	32,508	204,59	0,18623
	5	0,43752	7,2601	5,2479
	6	4,7781	37,212	1,0239
	7	4,7936	36,01	1,058

Pada design usulan 3 dengan ketebalan 3mm masih dikatakan tidak layak dikarenakan pada skenario 3 dan skenario 4 terdapat deformasi, *equivalent stress*, dan *safety factor* yang tidak sesuai batasan yang diperbolehkan dan pada skenario 3 dan skenario 4 *safety factor* yang dihasilkan masih berada dibawah standar yang diperbolehkan yaitu sebesar 2, sehingga pada desain usulan 3 tidak dilakukan simulasi sirkulasi udara pada produk dikarenakan desain tersebut tidak layak dari segi kekuatan produk.

4. Kesimpulan

Dari hasil simulasi yang dilakukan pada produk short arm cast yang telah dilakukan menunjukkan bahwa dari segi kekuatan produk tersebut belum bisa dikatakan layak dikarenakan dari segi deformasi dan FOS masih belum sesuai dengan standar yang diharapkan dikarenakan terdapat deformasi sebesar 6,2940 dan 6,0054 serta FOS sebesar 1,1514, 1,2308, dan 1,9577, produk dapat dikatakan layak apabila memiliki nilai deformasi maksimum sebesar 5mm dan nilai FOS minimal 2. Dari segi sirkulasi udara produk desain short arm cast belum memiliki sirkulasi udara yang baik dikarenakan tidak adanya lubang sirkulasi udara pada produk. Mengacu pada hasil yang telah didapatkan pada hasil simulasi maka perlu dilakukan perbaikan pada desain.

Setelah dilakukan simulasi untuk beberapa produk usulan short arm cast didapatkan hasil sebuah yaitu produk yang layak dari segi kekuatan dan memiliki sirkulasi udara yang lebih baik dari desain sebelumnya yaitu desain usulan 1 dengan ketebalan sebesar 2,5mm dan memiliki lubang sirkulasi udara sebesar 10mm. Setelah dilakukan UAT untuk mengetahui apakah produk tersebut dapat diterima oleh user atau tidak, didapatkan hasil sebesar 93,4% sehingga dapat disimpulkan produk tersebut dapat diterima oleh user.

Daftar Pustaka:

- [1] Lim, Y. E., Kim, N. H., Choi, H. J., & Park, K. (2017). Design for additive manufacturing of customized cast with porous shell structures. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 31(11), 5477–5483. <https://doi.org/10.1007/s12206-017-1042-z>
- [2] Ulrich, K. T. dan Eppinger, S. D. 2012. *Product Design and Development* 5th Edition. New York: McGraw-Hill Education
- [3] Kim, H., & Jeong, S. (2015). Case study: Hybrid model for the customized wrist orthosis using 3D printing. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 29(12), 5151–5156. <https://doi.org/10.1007/s12206-015-1115-9>
- [4] Heru, P. R., Anugraha, R. A., Sjafrizal, T. (2015). Development of detail design feeder machine cnc haas turning st-20 using machine design method in manufacturing process. *eProceedings of Engineering*.
- [5] Putra, M. E. R. U., & Afrinaldi, A. (2012). *Makalah Aditif Manufacturing “Rapid Prototyping,”* (1021223001).
- [6] Brunner and Suddarth. (2002). *Buku Ajar Keperawatan Medikal Bedah*, edisi 8 volume 2. Jakarta: EGC
- [7] Ulrich, K. T. dan Eppinger, S. D. 2012. *Product Design and Development* 5th Edition. New York: McGraw-Hill Education
- [8] Petrova, R. (2015). *Introduction to Static Analysis Using SolidWorks Simulation*. Boca Raton: CRC Press.
- [9] Madenci, E., & Guven, I. (2015). *The Finite Element Method and Applications in Engineering Using Ansys* Second Edition. New York Heidelberg Dordrecht London: Springer.