Fakultas Teknik,
Universitas Wijaya Kusuma Surabaya
ISSN 3090-1154 (Media Online)
Volume 2, Tahun 2025

Analisis error dimensi pada mesin 3D printing berbasis *slurry*

N. Muna*[1], R. Febrian[2], A. E. Tontowi[3]
[1,2,3] Departemen Teknik Mesin dan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada Yogyakarta
Email: [1]naylamuna@mail.ugm.ac.id, [2]febrianrinaldi58@gmail.com, [3]alvaedytontowi@ugm.ac.id
*Penulis Koresponden

Abstrak

Perkembangan teknologi pencetakan 3D atau bisa kita sebut 3D *printing* telah menunjukkan kemajuan, terutama dalam sektor kesehatan, contohnya digunakan dalam memproduksi tulang akibat kerusakan atau cedera yang dialami. Salah satu tipe pencetakan 3D yang digunakan adalah berbasis *direct-ink writing*. Material yang pakai berbentuk *slurry* dan alat 3D printer Eazao Zero, sebelum itu, perlu dilakukan optimasi parameter proses mesin terlebih dahulu, optimasi tersebut menggunakan metode RSM. Namun, dalam pelaksanaannya, hasil cetakan mengalami perbedaan hasil printing dengan desain CAD. Oleh karena itu, perlu dilakukan analisis untuk mengetahui penyebab error dimensi tersebut. metode yang dipakai *root cause analysis* dengan menggunakan diagram tulang ikan atau disebut diagram Ishikawa. Hasil analisis menggunakan diagram Ishikawa menunjukkan pada *action matrix priority*, kuadran *quick wins* mengidentifikasi permasalahan yang mudah diselesaikan dan memiliki dampak signifikan, yaitu kurangnya ketelitian dalam pengukuran. Solusi yang diusulkan adalah memberikan pelatihan untuk melakukan pengukuran dengan lebih teliti. Pada kuadran *fill-ins* mengidentifikasi permasalahan yang juga mudah diselesaikan namun tidak memberikan dampak signifikan, antara lain: pendorong material tabung yang tidak kuat untuk mendorong material keluar, dudukan tabung material tidak sesuai, selang penghubung terlalu panjang. Solusi yang diusulkan adalah dengan mengganti tabung dengan bahan yang lebih kuat, mengganti dudukan tabung material, menggunakan selang penghubung yang lebih pendek**.**

Kata kunci : *3DP, 3DPC, eror dimensi, fishbone diagram.*

Abstract

The development of 3D printing technology has shown progress, especially in the healthcare sector, for example, it is used in producing bones due to damage or injury. One type of 3D printing used is direct-ink writing. The material used is slurry and the Eazao Zero 3D printer tool, before that, it is necessary to optimize the machine process parameters first, the optimization uses the RSM method. However, in its implementation, the printed results experience differences in printing results with CAD designs. Therefore, an analysis is needed to determine the cause of the dimensional error. The method used is root cause analysis using a fishbone diagram or called the Ishikawa diagram. The results of the analysis using the Ishikawa diagram show that in the action matrix priority, the quick wins quadrant identifies problems that are easy to solve and have a significant impact, namely the lack of accuracy in measurements. The proposed solution is to provide training to carry out measurements more accurately. In the fill-ins quadrant, problems are also identified that are easy to solve but do not have a significant impact, including: the material tube pusher is not strong enough to push the material out, the material tube holder is not suitable, the connecting hose is too long. The proposed solution is to replace the tube with a stronger material, replace the material tube holder, use a shorter connecting.

Keywords*: 3DP, 3DPC, dimentional error, fishbone diagram.*

I. PENDAHULUAN

3D *printing* merupakan salah satu teknologi yang berkembang cukup pesat, 3D *printing* ini banyak diterapkan di beberapa bidang, seperti *aerospace, healthcare*, dan juga bidang industri makanan. Sistem 3D *printing* ini menggunakan *computer aided design* (CAD) untuk menggambar sesuai apa yang kita butuhkan, dari gambar atau desain tersebut kemudian selanjutnya dilakukan proses *printing* berbentuk tiga dimensi sesuai desain yang dibuat sebelumnya. Terdapat beberapa jenis 3D printing, beberapa diantaranya yaitu *stereolithography* (SLA), *fuse deposition model* (FDM), *selective laser sintering* (SLS), dan juga *direct ink writing* (DIW)[1]. 3DP memungkinkan pembuatan struktur geometris yang cukup rumit yang telah dirancang sebelumnya menggunakan perangkat lunak desain berbantuan komputer (CAD),

sehingga dalam hal ini dapat meniru dengan tepat arsitektur atau bentuk dan porositas jaringan di titik-titik yang sudah ditentukan sebelumnya [2].

Pada *direct ink writing* (DIW) ini juga mengalami perkembangan, salah satunya yaitu pengembangan 3D *printing-ceramic* (3DPC), keunggulan dari pengembangan 3DPC adalah dalam hal efisiensi, yaitu efisiensi waktu dan juga efisiensi biaya, 3DPC ini dapat menggunakan material berbasis *slurry, bulk-solid* maupun material berbasis *slurry*[3]. Komponen *slurry* dapat dibuat dari campuran material yang terdiri dari serbuk keramik, resin, fotoinisiator, bahan pencampur dan serta aditif lainnya [4]. Material ini juga mengalami perkembangan yang sangat signifikan seiring perkembangan zaman, salah satu pengembangan material adalah rekayasa material yang dibutuhkan pada bidang kesehatan, yaitu yang berbahan dasar biomaterial.

Biomaterial ini merupakan bahan yang terbuat dari bahan sintesis alami atau bahan alami, biomaterial ini diharapkan dapat digunakan sesuai dengan struktur komponen penyusun pada tubuh pasien, sehingga tidak menimbulkan efek samping yang berbahaya[5]. Biomaterial saat ini sedang mengalami perkembangan tinggi serta memiliki berbagai aplikasi dalam bidang medis dan klinis, seperti memperbaiki cedera pada saraf [6], merekonstruksi jaringan yang terdapat pada jantung[7], dan juga menyembuhkan cedera pada tulang serta jaringan lunak pada tubuh [8], [9].

Permintaan pada bidang kesehatan pada setiap tubuh pasien tentu akan berbeda-beda sesuai dengan kebutuhan pada setiap tubuh individu pasien-pasien tersebut, seperti misalnya ketika pada kejadian pasien yang mengalami patah tulang, tentu pasien satu dengan pasien lainnnya mengalami patah tulang yang berbeda, dari tingkat keparahan, kerusakan, dan letak kerusakan pasti akan berbeda antara pasien satu dengan lainnya, oleh karena itu kebutuhan pada bidang kesehatan bersifat *make to order* sesuai kriteria yang dibutuhkan oleh tubuh setiap pasiennya, sedangkan dalam bidang kesehatan juga perlu mengestimasi waktu yang dibutuhkan oleh pasien agar cepat tertangani oleh para dokter, hal inilah yang kemudian diperlukan solusi untuk hal tersebut, 3DP diharapkan dapat membantu memberikan solusi, karena dalam 3DP bisa dengan mudah mendesain sesuai dengan permintaan. Hal ini lah yang mendasari dilakukan penelitian lebih lanjut tentang mesin 3DP, namun pada proses *printing* sangat memungkinkan terjadi kesalahan yang perlu untuk diurai satu per satu, sehingga didapat sebab akibat yang kemudian nantinya diharapkan dapat mencari solusi yang tepat pada setiap permasalahan yang dihadapi. Salah satu metode yang digunakan untuk menguraikan sebab akibat yang terjadi dalam permasalahan adalah dengan menggunakan metode *root analysis cause.*

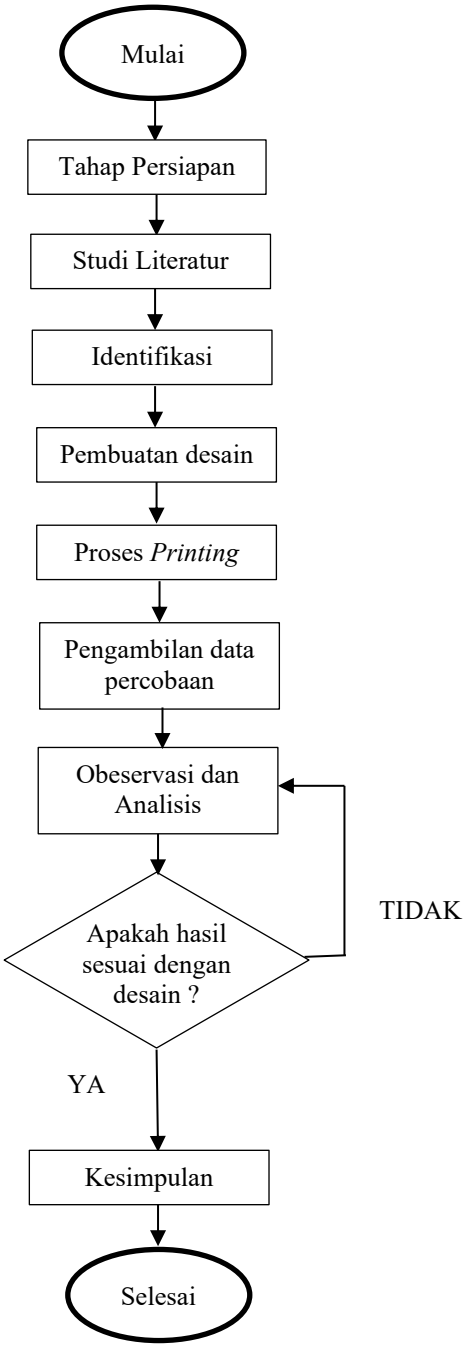
Root analysis cause ini merupakan pendekatan terencana yang digunakan untuk menemukan sumber utama dari suatu permasalahan dengan harapan mendapatkan solusi yang akurat dan bertahan lama. Salah satu instrumen yang banyak digunakan dalam RCA adalah diagram tulang ikan atau diagram Ishikawa, yang dapat menyajikan gambaran sistematis dan terstruktur dari hubungan sebab-akibat. Diagram ini berfungsi untuk mengelompokkan faktor penyebab ke dalam kategori utama seperti sumber daya manusia, peralatan, prosedur, bahan, dan lingkungan, sehingga membantu tim dalam menentukan penyebab yang mungkin tersebar di berbagai bidang[10].

Diagram Ishikawa merupakan alat yang digunakan untuk menganalisis hubungan sebab dan akibat yang sering diterapkan dalam penelitian bidang manajemen, meskipun banyak digunakan dalam bidang manajemen, penggunaaan diagram Ishikawa ini juga berkembang luas pada bidang kesehatan [11]Diagram Ishikawa diciptakan oleh Kaoru Ishikawa, hal ini lah yang memelopori dan menjadi pioner teknik manajemen mutu di Jepang pada tahun 1960-an. Diagram ini juga dikenal sebagai diagram tulang ikan karena bentuknya. ‘Kepala ikan’ merepresentasikan masalah utama. Potensi penyebab masalah, biasanya berasal dari *brainstorming*, ditunjukkan dalam kepala ‘tulang ikan’ pada diagram tersebut. Contoh penerapan diagram Ishikawa pada bidang kesehatan adalah 'amenore sekunder/oligomenore' telah dipilih sebagai masalah utama yang muncul, sehingga berada di bagian awal diagram Ishikawa, yaitu di letakkab kepala tulang ikan [12] Dalam penelitian ini, permasalahan yang ditimbulkan pada proses 3DP berbasis slurry adalah pada error dimensi, sebab akibat terjadinya error dimensi akan diuraikan dengan menggunakan RCA dengan diagram Ishikawa, sehingga dari sebab akibab tersebut dapat diberikan beberapa solusi, seperti perbaikan atau *mprovement* jika diperlukan.

II. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah metode observasi atau pengamatan terhadap percobaan yang dilakukan dengan menggunakan mesin 3D *printing* Eazao Zero, adapun diagram alir proses disajikan pada Gambar 1.

Fakultas Teknik,
Universitas Wijaya Kusuma Surabaya
ISSN 3090-1154 (Media Online)
Volume 2, Tahun 2025



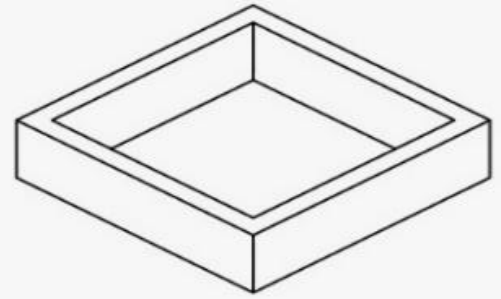
Gambar 1. Diagram Alir

Fakultas Teknik,
Universitas Wijaya Kusuma Surabaya
ISSN 3090-1154 (Media Online)
Volume 2, Tahun 2025

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pembuatan desain

Pembuatan desain bangun menggunakan *software* 3D, desain bangun yang dibuat yaitu berbentuk balok dengan dimensi ukuran 20 mm x 20 mm x 5 mm, desain bangun dibuat sederhana terlebih dahulu untuk mengetahui keberhasilan dan kesesuaian antara desain bangun yang dibuat dengan hasil *print* nantinya. Adapun desain yang dibuat dapat dilihat pada **Gambar 2.**



Gambar 2. Desain specimen

3.2. Proses *Printing*

Desain 3D yang telah dibuat kemudian akan dilakukan proses *printing* menggunakan mesin 3D *printing* Eazao Zero yang dapat dilihat pada **Gambar 3.**

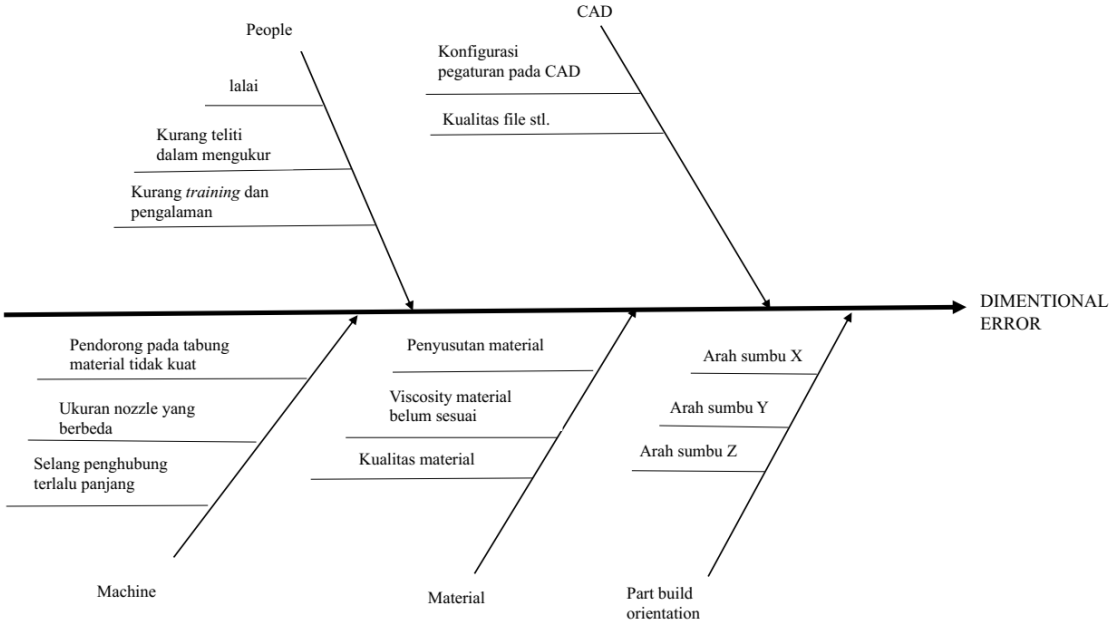
Gambar 3. Mesin 3D printing

3.3 Hasil *Printing*

Hasil *printing* dengan komposisi material HAp, kolagen, aquades,dan juga NaOH, hasil *printing* material berbentuk *slurry* dapat dilihat pada **Gambar 4.**

Gambar 4. Hasil Printing

Hasil *printing* tersebut dapat dilihat bahwa terjadi ketidaksesuaian antara desain bangun yang dibuat dengan hasil *print*. Error dimensi ini perlu dilakukan observasi dan evaluasi untuk mencari sebab akibatnya, sehingga setelah mendapatkan kemungkinan-kemungkinan penyebabnya, kemudian dapat mencari solusi-solusi untuk mengatasi permasalahan error dimensi tersebut, dalam hal ini mencari sebab akibat dengan menggunakan analisis diagram alir *fishbone* yang dapat dilihat pada **Gambar 5.**



Gambar 5. *Fishbone diagram analysis*

Beberapa penyebab terjadinya error dimensi pada hasil *print* yaitu *people, machine, material, CAD,* dan juga *part build orientation*. *People* bisa disebabkan karena *human error* seperti kelalaian, kurang teliti, selain itu penyebab lainnya adalah kurang *training* atau pengalaman dalam melakukan percobaan penelitian yang dilakukan, pada *machine* bisa disebabkan pendorong pada tabung penampung material tidak kuat, sehingga material tidak dapat terdorong keluar dengan sempurna.

Penyebab lain pada mesin yang kemungkinan bisa menyebabkan error pada dimensi adalah ukuran nozzle yang berbeda dan juga selang penghubung antara tabung material ke mesin terlalu panjang. Kemungkinan penyebab yang lain adalah pada material, dimana sifat material ini bisa mengalami penyusutan ketika sudah mengering, sehingga tentu dimensi ketika hasil *print* material masih basah dan sudah kering akan mengalami ukuran dimensi yang berbeda, kemudian viscosity material belum sesuai, sehingga ini juga bisa menyebabkan kerusakan pada tabung material karena viscosity terlalu kental, sehingga menyebabkan pendorong tabung tersebut tidak kuat untuk mendorong material keluar karena terlalu kental, sebaliknya jika material terlalu encer, hasil print juga akan tidak beraturan seperti yang ditunjukan pada **Gambar 6.**

Fakultas Teknik,
Universitas Wijaya Kusuma Surabaya
ISSN 3090-1154 (Media Online)
Volume 2, Tahun 2025

Gambar 6. Hasil print dari material encer

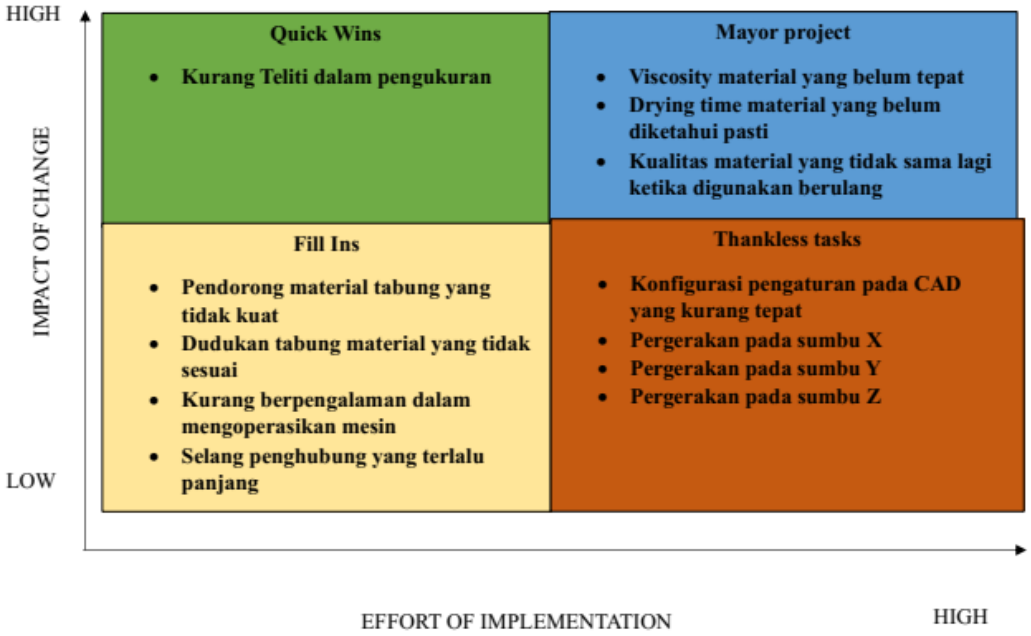
Penyebab lain dari material adalah kualitas material yang digunakan, dalam hal ini kualitas material yang berbeda merek mungkin akan mempengaruhi error dimensi dari hasil *print*, kemudian material ini hanya bisa digunakan 1 kali dalam sekali percobaan, karena ketika material digunakan ulang hasilnya juga kualitasnya semakin menurun dan menyebabkan tersumbat dan menggumpal di saluran ke mesin seperti yang ditunjukan pada **Gambar 7.**

Gambar 7. saluran tabung pada mesin tersumbat

Penyebab selanjutnya adalah CAD (*Computer Aided Design*), penyebabnya bisa karena konfigurasi pengaturan pada CAD berbeda dan juga kualitas file stl. juga dapat memungkinkan menjadi penyebab terjadinya error pada dimensi hasil *print.* Penyebab lainnya adalah part build orientation, dimana ini bisa dilakukan investigasi lebih lanjut dengan melihat seberapa banyak selisih error dimensi hasil *print* dengan desain awal yang dibuat.

3.5 *Action Priority Matrix*

Action priority matrix adalah matrix yang digunakan untuk mengelompokan prioritas usaha (*effort*) dan dampak (*impact),* sehingga dapat diketahui apa saja usaha dan dampak yang perlu dijadikan prioritas utama dalam penyelesaian masalah yang dihadapi, berikut merupakan gambar *action priority matrix* yang ditunjukan pada **Gambar 8.**



Gambar 8. ***Action matrix priority***

3.4 Solusi

Solusi-solusi yang dapat diberikan berdasarkan dari *action matrix priority*, dapat diamati bahwa terdapat empat segmen yang memetakan hasil dari matriks kemudahan dan dampak. Dalam hal ini, peneliti memilih segmen *quick wins* dan juga pada *fill ins* :

3.4.1 *Quick Wins*

Solusi yang dapat dilakukan pada segmen *quilt ins* yang disebabkan oleh *human error* dan kurang teliti dalam pengukuran, solusi yang diberikan adalah dengan melakukan *training* terhadap user atau orang-orang yang terlibat dalam melakukan percobaan, berikut merupakan *training* yang diberikan pada user dalam melakukan pengukuran dengan menggunakan jangka sorong yang ditunjukan pada **Gambar 9.**

Gambar 9. ***Training pengukuran menggunakan jangka sorong***

Fakultas Teknik,
Universitas Wijaya Kusuma Surabaya
ISSN 3090-1154 (Media Online)
Volume 2, Tahun 2025

3.4.2 *Fill Ins*

Solusi yang dapat diberikan pada segmen *fill ins* antara lain adalah dengan mengganti pendoorng tabung material dengan bahan yang lebih kuat seperti yang ditunjukan pada **gambar 10,** kemudian pada dudukan material yang tidak sesuai, solusi yang diberikan adalah dengan mengganti dudukan material dengan ukuran yang sesuai dengan tabung material dan ukuran selang yang terlalu panjang diganti dengan ukuran panjang selang material yang sesuai dengan yang dibutuhkan, seperti yang ditunjukan pada **gambar 11,** dan pada poin user kurang berpengalaman dalam menggunakan mesin, solusi yang diberikan adalah dengan memberikan materi tentang mesin yang digunakan serta melakukan percobaan pengoperasian pada mesin yang digunakan.

Gambar 10. Improvement pada pendorong tabung material

Gambar 11. *Improvement* pada dudukan tabung material

IV. KESIMPULAN

Kesimpulan yang didapat dari hasil penelitian ini adalah (1) Kuadran *quick ins* : user kurang teliti dalam pelaksanaan pengukuran, (2) Kuadran *mayor project* : kuadran *mayor project* merupakan merujuk pada kuadran yang menunjukkan masalah yang sulit diselesaikan, tetapi memiliki dampak yang signifikan. Masalah yang dimaksud antara lain adalah viskositas material yang belum optimal, waktu pengeringan material yang belum diketahui secara pasti, serta kualitas material yang bervariasi saat digunakan secara berulang, (3) Kuadran *fill ins* terdiri dari faktor-faktor seperti : pendorong material tabung yang tidak kokoh, dudukan material yang tidak tepat, kurangnya pengalaman dalam mengoperasikan mesin, serta selang penghubung yang terlalu panjang sehingga mengakibatkan material mengering dalam selang. Kuadran ini menunjukkan masalah yang tergolong mudah untuk diatasi, meskipun dampaknya tidak terlalu signifikan, dan (4) Kuadran *thankless task* : menunjukkan masalah yang sulit untuk diatasi dan tidak memberikan dampak yang signifikan. Dalam situasi ini, peneliti memilih kuadran *quick wins* dan *fill ins* karena penyelesaian masalahnya relatif mudah untuk dilaksanakan.

Alternatif solusi yang diusulkan adalah (1) Memberikan peringatan untuk melakukan pengukuran dengan cermat dan penuh ketelitian, (2) Mengubah atau melakukan *improvement* pada pendorong tabung material dengan bahan yang lebih kokoh. (3) Melakukan penggantian dudukan tabung material yang sesuai dengan ukuran tabung tabung material, dan (4) Mengganti selang penghubung yang sesuai dengan tabung material.

V. UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada orangtua, keluarga dan juga rekan-rekan yang telah membantu proses penelitian ini, baik dalam bentuk dukungan doa maupun tindakan, selain itu terima kasih juga ditujukan kepada pihak Universitas yang telah memfasilitasi untuk melakukan percobaan dan penelitian ini, sehingga dapat terlaksana.

REFERENSI

[1] K. R. Ryan, M. P. Down, N. J. Hurst, E. M. Keefe, and C. E. Banks, “Additive manufacturing (3D printing) of electrically conductive polymers and polymer nanocomposites and their applications,” Jul. 01, 2022, *Elsevier B.V.* doi: 10.1016/j.esci.2022.07.003.

[2] A. Dedeloudi, L. Martinez-Marcos, T. Quinten, S. K. Andersen, and D. A. Lamprou, “3D-printed biomaterial-based scaffolds loaded with zoledronic acid functionalised ceramic microparticles for sustained release,” *Int J Pharm*, vol. 683, Oct. 2025, doi: 10.1016/j.ijpharm.2025.126101.

[3] Z. Chen *et al.*, “3D printing of ceramics: A review,” Apr. 01, 2019, *Elsevier Ltd*. doi: 10.1016/j.jeurceramsoc.2018.11.013.

[4] G. A. Brady and J. W. Halloran, “Stereolithography of ceramic suspensions,” *Rapid Prototyp J*, vol. 3, no. 2, pp. 61–65, 1997, doi: 10.1108/13552549710176680.

[5] A. Sobczak-Kupiec, K. Pluta, A. Drabczyk, M. Włoś, and B. Tyliszczak, “Synthesis and characterization of ceramic - polymer composites containing bioactive synthetic hydroxyapatite for biomedical applications,” *Ceram Int*, vol. 44, no. 12, pp. 13630–13638, Aug. 2018, doi: 10.1016/j.ceramint.2018.04.199.

[6] K. Zhang *et al.*, “Potential application of an injectable hydrogel scaffold loaded with mesenchymal stem cells for treating traumatic brain injury,” *J Mater Chem B*, vol. 6, no. 19, pp. 2982–2992, 2018, doi: 10.1039/c7tb03213g.

[7] V. F. M. Segers and R. T. Lee, “Biomaterials to enhance stem cell function in the heart,” Sep. 30, 2011. doi: 10.1161/CIRCRESAHA.111.249052.

[8] K. Mukund and S. Subramaniam, “Skeletal muscle: A review of molecular structure and function, in health and disease,” Jan. 01, 2020, *Wiley-Blackwell*. doi: 10.1002/wsbm.1462.

[9] J. R. Sanes, “The basement membrane/basal lamina of skeletal muscle,” Apr. 11, 2003. doi: 10.1074/jbc.R200027200.

[10] A. Kumah *et al.*, “Cause-and-Effect (Fishbone) Diagram: A Tool for Generating and Organizing Quality Improvement Ideas,” *Global Journal on Quality and Safety in Healthcare*, vol. 7, no. 2, pp. 85–87, May 2024, doi: 10.36401/JQSH-23-42.

Fakultas Teknik,
Universitas Wijaya Kusuma Surabaya
ISSN 3090-1154 (Media Online)
Volume 2, Tahun 2025

[11] R. Carvalho *et al.*, “Analysis of root causes of problems affecting the quality of hospital administrative data: A systematic review and Ishikawa diagram,” Dec. 01, 2021, *Elsevier Ireland Ltd*. doi: 10.1016/j.ijmedinf.2021.104584.

[12] K. C. Wong, “Using an Ishikawa diagram as a tool to assist memory and retrieval of relevant medical cases from the medical literature,” 2011. doi: 10.1186/1752-1947-5-120.