

Pembuatan Produk *Prototype* Roda Gigi Menggunakan 3D *Printing*

Muhammad Miftahul Abid^{1✉}, Wahyu Sidiq Saputra², Arya Beta Ash Shidik³

^{1, 2, 3} Teknik Industri, Fakultas Teknologi dan Rekayasa, Universitas Selamat Sri, Indonesia

Informasi Artikel

Riwayat Artikel

Diserahkan : 31-05-2024

Direvisi : 11-06-2024

Diterima : 14-06-2024

ABSTRAK

Teknologi 3D *Printing* digunakan untuk pembuatan produk suku cadang mesin untuk membantu *maintenance* (pemeliharaan). Sebelumnya proses *maintenance* berlangsung lama (> 4 hari), karena menunggu pembuatan sampel suku cadang roda gigi dari vendor. Tujuan penelitian ini membuat produk *prototype* roda gigi dan waktu proses yang cepat dengan menentukan parameter yang ideal. Penelitian ini menggunakan metode *Multimedia Development Life Cycle* yang terdiri dari tiga tahapan. Tahap 1: pembuatan konsep (*concept*) dan Perancangan (*design*); Pada tahap 2: pengumpulan bahan dan pembuatan produk dan tahap 3: *testing* dan *distribution*. Penelitian ini dengan dua percobaan pencetakan menggunakan parameter *fill density* dan *layer height*. Hasil cetakan produk *prototype* dengan parameter *fill density* menghasilkan kepadatan isi 60% dan *layer height* 0,1 mm menunjukkan kekuatan lebih baik, sehingga tidak pecah. Proses pencetakan dengan *layer height* 0,1 membutuhkan waktu 228 menit, sehingga pembuatan produk lebih cepat dibandingkan sebelumnya empat hari sehingga proses pemeliharaan lebih cepat dari sebelumnya.

Kata Kunci:

Prototype, Roda Gigi, 3D *Printing*

Keywords :

Prototype, Gear, 3D *Printing*

ABSTRACT

Technology 3D Printing used to manufacture machine spare parts products to help maintenance (maintenance). Previous process maintenance took a long time (> 4 days), because we were waiting for samples of gear parts to be made from the vendor. The aim of this research is to make a product prototype gears and fast processing time by determining ideal parameters. This research uses the method Multimedia Development Life Cycle which consists of three stages. Stage 1: concept creation (concept) and Planning (design); In level 2: collection of materials and manufacturing of products and level 3: testing and distribution. This research involved two printing experiments using parameters fill density and layer height. Product printouts prototype with parameters fill density resulting in a fill density of 60% and layer height 0.1 mm shows better strength, so it doesn't break. Printing process with layer height 0.1 takes 228 minutes, so product production is faster than before, four days, so the maintenance process is faster than before.

Corresponding Author :

Muhammad Miftahul Abid

Teknik Industri, Fakultas Teknik dan Rekayasa, Universitas Selamat Sri, Indonesia

Jl. Soekarno Hatta no. 03, Patebon, Kendal

Email: abida.edu@gmail.com

PENDAHULUAN

Perusahaan sektor manufaktur terus meningkatkan efisiensi dan produktivitas dalam produksi produk baru. Saat ini proses pengembangan produk yang berkembang sangat pesat adalah *3D Printing*. Teknologi *3D Printing* digunakan untuk pembuatan produk seperti produk replika organ tubuh di bidang kesehatan, konstruksi bangunan, industri makanan, pembuatan *spare part* komponen mesin dan lainnya (Cahyati & Furqon, 2022). Selain itu, berbagai jenis material dapat digunakan pada industri manufaktur yang menggunakan logam, industri kerajinan dengan bahan *Polylactic Acid* (PLA) dan bahan-bahan makanan. Tentunya kelebihan teknologi *3D Printing* membuat efisiensi proses produksi dari segi material dan waktu proses.

Konsumen dalam proses pembuatan suku cadang dapat memanfaatkan mesin *3D Printing*, karena dapat dibuat secara kustom (Widyastuti, 2020). Pembuatan produk secara kustom dengan *3D Printing* mampu mempersingkat waktu *maintenance* (pemeliharaan) mesin produksi yang sedang rusak (Izhardas & Lubis, 2023). Selain itu, *3D Printing* menawarkan pembuatan produk sesuai kebutuhan, misal kebutuhan membuat suku cadang mesin dengan material logam. Untuk kebutuhan sampel model suku cadang dapat menggunakan material *Polylactic Acid* (PLA) sejenis material plastik untuk keperluan analisis dan pengembangan produk baru, maka konsumen tidak perlu memesan sampel model ke perusahaan lain yang waktu tungguanya empat hari seperti yang terjadi pada kasus penelitian ini.

Prinsip kerjanya membentuk produk dengan meletakkan lapisan-lapisan material pada sumbu vertikal, sehingga membentuk produk. tumpukan lapisan terus berlanjut hingga proses pencetakan selesai dan produk yang diinginkan terbentuk (Msallem et al., 2020). Kecepatan pembuatan produk *3D Printing* ditentukan oleh parameter mesin. Parameter mesin *3D Printing* terdiri dari *infill print speed*, *fill density*, *nozzle temperature*, dan *layer height* (G. S. Lubis et al., 2021). Tujuan penelitian menentukan parameter ideal untuk membuat produk *prototype* roda gigi bermutu baik dan waktu proses cepat. Pencetakan yang cepat akan membantu mempercepat proses *maintenance* mesin yang rusak. Dari penelitian sebelumnya, variasi *layer height* memengaruhi kekuatan tarik dan waktu pencetakan dari produk *3D Printing* (Cahyati & Furqon, 2022). Namun penelitian lain menyampaikan kekuatan uji tarik paling besar dipengaruhi *extrude temperature* dan *height layer* memberikan pengaruh paling kecil *height* (G. S. Lubis et al., 2021). Berdasarkan beberapa penelitian yang sudah ada, penelitian ini akan melakukan dua percobaan pencetakan produk menggunakan *3D Printing* dengan variasi parameter *fill density* dan *layer height*.

METODE PENELITIAN

Penelitian tentang pembuatan *prototype* roda gigi menggunakan teknologi *3D Printing* dengan metode *Multimedia Development Life Cycle* (MDLC). Metode ini sebagai mekanisme langkah-langkah mengembangkan produk (*Research and Development*) untuk menghasilkan produk baru yang digunakan. Menurut Subandi dan Husein (2021), metode MDLC terdiri dari tiga tahapan. Pada tahap 1: pembuatan konsep (*concept*) dan Perancangan (*design*); Pada tahap 2: pengumpulan bahan dan pembuatan produk; dan tahap 3: *testing* dan *distribution*. Tahapan MDLC tersaji pada Gambar 1.

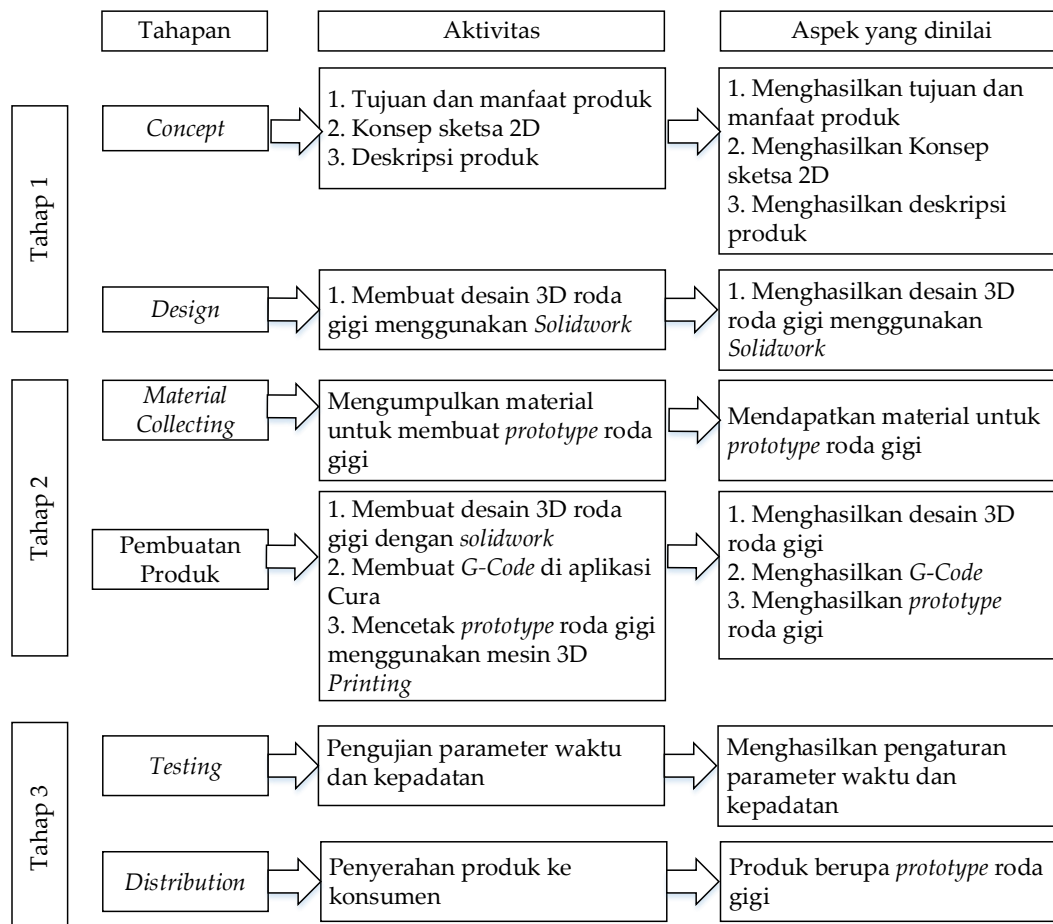
Tahap 1 berisi aktivitas membuat konsep dan membuat desain produk. Pada tahap ini dikumpulkan informasi tentang kebutuhan konsumen atas fungsi produk.

Tahap Concept

Konsep produk bertujuan menentukan identitas dan manfaat produk (Utami et al., 2022). Konsep produk dibuat sesuai kebutuhan, sehingga mengedepankan mutu dan fungsi dari produk. Pada konsep produk perlu dimunculkan kelebihan fitur produk, sehingga dapat memenuhi kepuasan konsumen, dan mampu memberikan peningkatan kinerja atau menyelesaikan permasalahan yang dialami konsumen. Pada penelitian ini menghasilkan sketsa gambar kerja beserta fitur produk.

Tahap Desain

Menurut Utami *et al.*, (2022) Desain produk merupakan nilai yang dimiliki suatu produk dengan menunjukkan ciri khas dan membuat perbedaan dengan produk lainnya. Artinya desain berisi unsur-unsur fungsi, estetika dan kegunaan yang ditawarkan kepada konsumen. Untuk mendapatkan desain produk sesuai kebutuhan, maka perlu proses penelitian, diskusi, koordinasi antar berbagai pihak. Penelitian ini melakukan desain 3D dengan aplikasi *Solidwork*, yaitu perangkat lunak untuk merancang, memvisualisasikan dan mengubah objek (Kyratsis et al., 2019). Perangkat ini dipilih, karena gambar yang dihasilkan bermutu tinggi serta mudah digunakan. Desain 3D menjadi data untuk membuat *prototype* roda gigi.



Gambar 1. Tahapan Pengembangan Produk Pada Metode MDLC

Tahap 1 berisi aktivitas membuat konsep dan membuat desain produk. Pada tahap ini dikumpulkan informasi tentang kebutuhan konsumen atas fungsi produk.

Tahap Concept

Konsep produk bertujuan menentukan identitas dan manfaat produk (Utami et al., 2022). Konsep produk dibuat sesuai kebutuhan, sehingga mengedepankan mutu dan fungsi dari produk. Pada konsep produk perlu dimunculkan kelebihan fitur produk, sehingga dapat memenuhi kepuasan konsumen, dan mampu memberikan peningkatan kinerja atau menyelesaikan permasalahan yang dialami konsumen (S. Y. Lubis et al., 2023). Pada penelitian ini menghasilkan sketsa gambar kerja beserta fitur produk.

Tahap Desain

Menurut Utami *et al.*, (2022) Desain produk merupakan nilai yang dimiliki suatu produk dengan menunjukkan ciri khas dan membuat perbedaan dengan produk lainnya. Artinya desain berisi unsur-unsur fungsi, estetika dan kegunaan yang ditawarkan kepada konsumen. Untuk mendapatkan desain produk sesuai kebutuhan, maka perlu proses penelitian, diskusi, koordinasi antar berbagai pihak. Penelitian ini melakukan desain 3D dengan aplikasi *Solidwork*, yaitu perangkat lunak untuk merancang, memvisualisasikan dan mengubah objek. Perangkat ini dipilih, karena gambar yang dihasilkan bermutu tinggi serta mudah digunakan. Desain 3D menjadi data untuk membuat *prototype* roda gigi.

Tahap 2; berisi tentang pemilihan material (*material collecting*) dan proses pembuatan produk. Berikut merupakan tahap 2:

Material Collecting

Proses pemilihan material untuk menentukan material utama atau alternatif material lain yang memenuhi fungsi sesuai dengan spesifikasi teknis yang dibutuhkan (Kartadipura, 2013). Pemilihan material untuk membuat *prototype* roda gigi berdasarkan kekuatan, ketahanan, harga material dan sesuai spesifikasi mesin yang memproses.

Pembuatan Produk

Pada proses pembuatan produk dilakukan dengan proses pencetakan desain roda gigi menjadi produk prototipe roda gigi dengan mesin 3D *Printing*. Cara kerjanya dari desain 3D di konversi ke perangkat lunak, yaitu menjadi G-Code sebuah kode kontrol numerik komputer dan bahasa pemrograman pencetakan 3D (Welandar & Amin, 2018). Selanjutnya mesin 3D *Printing* mencetak *prototype*

Tahap 3 berisi tentang aktivitas testing untuk mengetahui mutu produk *prototype* yang dihasilkan. Sebelumnya proses pembuatan produk dengan sistem *trial and error* untuk mendapatkan parameter ideal, sehingga dilakukan beberapa percobaan. Selanjutnya produk dengan mutu tinggi didistribusikan ke konsumen untuk digunakan.

Testing

Pengujian dilakukan untuk mendapatkan produk *prototype* bermutu tinggi berdasarkan kepadatan dan tingkat kehalusan hasil cetakan. Sedangkan parameter ideal yang perlu ditentukan adalah dimensi ukuran produk, suhu untuk melelehkan material filamen, kecepatan proses pencetakan dan waktu pencetakan (Sathishkumar *et al.*, 2020).

Distribution

Produk *prototype* roda gigi dapat digunakan oleh perusahaan manufaktur untuk sampel tiruan komponen mesin. *Prototype* roda gigi dapat digunakan untuk sampel pembuatan roda gigi yang nyata, apabila terjadi kerusakan komponen mesin.

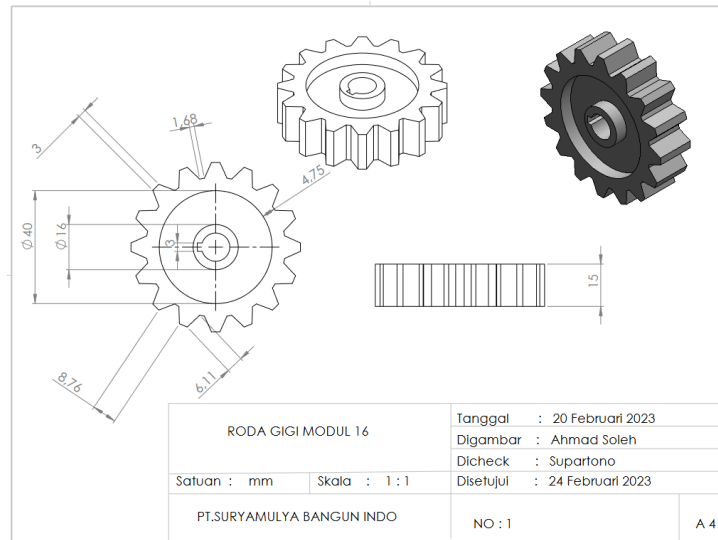
HASIL DAN PEMBAHASAN

Tahap Concept

Pada tahap *concept*, langkah pertama adalah mengetahui kebutuhan *customer*. Berdasarkan hasil diskusi konsumen dihasilkan fitur yang dibutuhkan konsumen, yaitu:

- Produk berbentuk fisik menyerupai roda gigi nyata
- Material yang digunakan produk dari bahan plastik
- Ukuran dan dimensi produk dapat dibuat *custom*
- Produk dapat mempercepat proses analisis kerusakan roda gigi.

Berdasarkan kebutuhan konsumen tersebut maka menghasilkan rancangan gambar kerja gear yang tersaji pada Gambar 2.

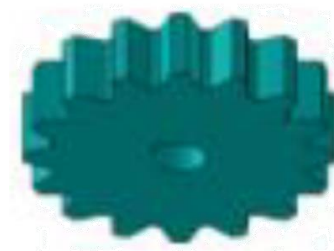


Gambar 2. Rancangan Gambar Kerja

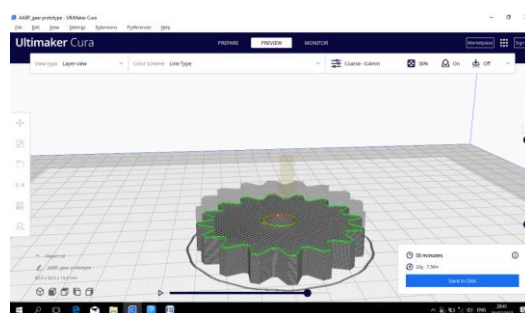
Gambar kerja ini memuat data produk roda gigi yang tercantum secara detail dan lengkap supaya mempermudah proses pembuatan produk. Selain itu menjadi media komunikasi antara perencana dengan pelaksana, sehingga data yang termuat harus jelas dan mudah dimengerti. Gambar ini berisi ukuran dimensi produk, skala, penjelasan gambar utama, material produk.

Tahap Desain

Pada tahap desain dengan mendesain gambar 3D roda gigi sesuai dengan gambar kerja. Proses desain menggunakan perangkat lunak *Solidwork*. Gambar desain roda gigi yang dihasilkan *Solidwork* model seperti asli secara ukuran dimensi, bentuk, detail tampilan dan kebutuhan material (Prasetyo et al., 2020). Gambar 3D roda gigi yang sudah dibuat, kemudian untuk pembuatan data G-Code atau kode kontrol numerik. Desain tersaji pada gambar 3. Pada tahap ini mendapatkan data berupa rancangan desain 3D *prototype* roda gigi yang telah dibuat menggunakan software *SolidWork* Premium 2019.

Gambar 3. Desain *Prototype* Roda Gigi

Desain gambar *prototype* roda gigi dengan format gambar SLDPRT dimasukkan kedalam aplikasi *Ultimaker Cura* (4.8.0) dan disimpan dan diubah ke format G-Code.

Gambar 4. Desain *Prototype* Roda Gigi

Tahap Material Collecting

Pada tahap *material collecting* di kumpulkan material menurut kebutuhan pembuatan *prototype gear*. material yang digunakan adalah *Polylatic Acid* (PLA). Bahan ini mempunyai akurasi tinggi, harga murah dan mudah digunakan, sehingga banyak digunakan pada mesin 3D *Printing* (Saputro dan Syahbuddin, 2021). Bahan penyusun *Polylatic Acid* (PLA) berasal dari tepung tapioka dan maizena, sehingga termasuk terbarukan sekaligus ramah lingkungan. Keunggulan lain *Polylatic Acid* (PLA) lebih keras dan kuat. Di sisi lain terdapat kekurangan *Polylatic Acid* (PLA), yaitu rapuh karena terbuat dari saripati tanaman daripada minyak mentah. Berbeda dengan material jenis *Acrylonitrile Butadiene Styrene* (ABS) dan *Polylatic Acid* (PLA) yang berasal dari berbagai plastik berbasis petrokimia.

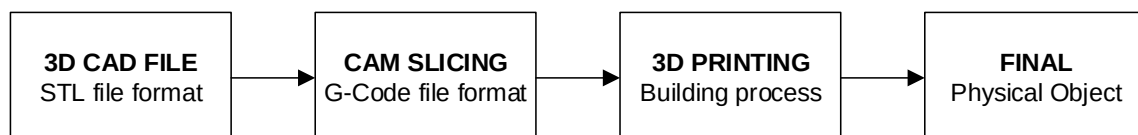
Tahap Pembuatan Produk

Tahap pembuatan produk adalah pertama menentukan parameter 3D *Printing*. Parameter merupakan sebuah nilai yang dijadikan tolak ukur yang menentukan mutu produk. Parameter yang memengaruhi mutu produk *prototype gear* sudah terdapat pada mesin 3D *Printing*. Pada penelitian ini digunakan empat parameter proses berpengaruh terhadap proses uji tarik, yaitu *infill print speed*, *fill density*, *extruder temperature*, dan *layer height* (G. S. Lubis et al., 2021).

Tabel 1. Parameter Pencetakan 3D *Printing*

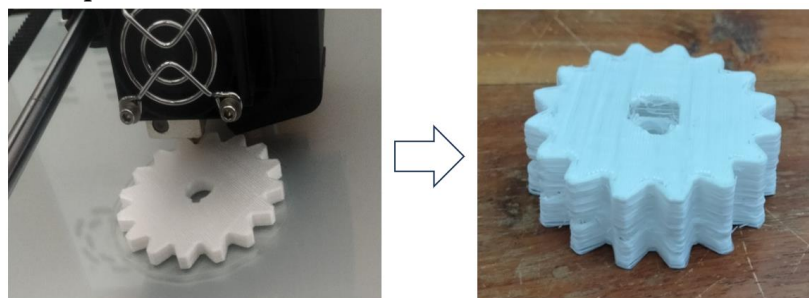
Parameter
<i>Infill Print Speed</i> (mm/s)
<i>Fill Density</i> (%)
<i>Nozzle Temperature</i> (C)
<i>Layer Height</i> (mm)

Proses produksi *prototype* diawali dengan membuat gambar 3D format gambar SLDPRT pada aplikasi *Solidwork* untuk dikonversi ke format G-Code yang merupakan kode kontrol numerik yang memberi perintah 3D *Printing* pencetakan produk. Tahapan proses produksi tersaji pada Gambar 5.



Gambar 5. Proses 3D *Printing*

Pada percobaan pertama digunakan parameter *infill print speed* 100 mm/s, *fill density* 30%, *extruder temperature* 200 °C, dan *layer height* 0,4 mm. Hasil dari parameter tersebut adalah mutu kepadatan dan waktu proses.



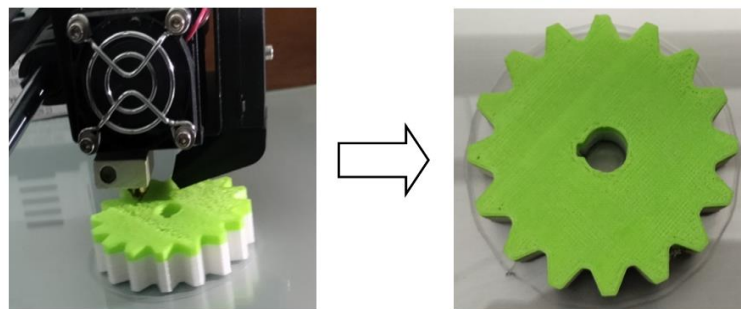
Gambar 6. Percobaan Pencetakan 1

Tabel 2. Hasil Percobaan Pencetakan 1

Parameter	Nilai
<i>Infill Print Speed</i> (mm/s)	100 mm/s
<i>Fill Density</i> (%)	30 %
<i>Nozzle Temperature</i> (C)	200 C
<i>Layer Height</i> (mm)	0,4 mm
<i>Thickness</i>	10 mm

Pada percobaan pertama mencetak produk dengan material *Polylactic Acid* (PLA) berwarna putih diameter 1,75 mm dengan *fill density* 30% dan *layer height* 0,4 mm. *Infill Density* adalah prosentase (%) pengaruh kepadatan isi cetakan terhadap sifat mekanis (Gunawan, 2020). Sedangkan *layer height* merupakan ketebalan lapisan yang diletakkan pada meja kerja. Hasil pencetakan memiliki *error* 10% dan waktu pencetakan 50 menit. Tingkat *error* menunjukkan adanya kerusakan pada saat proses pencetakan. Kerusakan terdapat dibagian rumah gear tengah (*hole*) tidak bisa dimasukan poros. Artinya tingkat presisi bentuk cetakan rendah. Namun semakin tipis lapisan yang dihasilkan maka, semakin halus hasil akhir produk namun dengan konsekuensi waktu pengerjaan yang lebih lama (Cahyati dan Furqon, 2022).

Untuk membandingkan pengaruh parameter mesin terhadap mutu produk dan waktu pencetakan, maka dilakukan percobaan kedua. Pada percobaan kedua digunakan parameter *infill print speed* 100 mm/s, *fill density* 60%, *nozzle temperature* 200 °C, dan *layer height* 0,1 mm. Perubahan parameter ada pada *fill density* dengan menambah tingkat kepadatan ini sebesar 60% dari kepadatan total. Selain itu, *layer height* diperkecil menjadi 0,1 mm, sehingga *filament* yang dikeluarkan lebih tipis pada setiap lapis (Gambar 7).

**Gambar 7. Percobaan Pencetakan 2****Tabel 3. Hasil Percobaan Pencetakan 1**

Parameter	Nilai
<i>Infill Print Speed</i> (mm/s)	100 mm/s
<i>Fill Density</i> (%)	60 %
<i>Nozzle Temperature</i> (C)	200 C
<i>Layer Height</i> (mm)	0,1 mm
<i>Thickness</i>	50 mm

Pada percobaan pencetakan 2 mencetak produk dengan material PLA berwarna putih diameter 1,75 mm dengan *fill density* 30% dan *layer height* 0,4 mm. Hasil pencetakan terdapat *error* 0% dan waktu pencetakan 228 menit. Tingkat *error* 0% menunjukkan tidak ada kerusakan pada saat proses pencetakan. Akurasi lebih tinggi dari percobaan pertama. Selain itu lapisan *layer* lebih tipis, sehingga semakin halus hasil akhir produk, namun waktu pengerjaan lebih lama.

Setelah melakukan pencetakan *prototype*, dilakukan pengujian (*testing*) dimensi untuk mengetahui akurasi kepadatan isi, pada desain 60 x 10 mm. Pengukuran menggunakan *Vernier Caliper* (jangka sorong) mendapatkan hasil dimensi cetakan diameter 60 x 10 mm menunjukkan terdapat selisih 0,6 mm. Gunawan (2020) melakukan pengujian ketebalan dan tinggi benda yang

cetakan digunakan alat proyektor profil (pengukur dimensi benda uji) dengan ketelitian 1 mikrometer. Penyimpangan terkecil ketebalan adalah densitas 20% dan menjadi *setting* paling bagus keakurasiannya dibandingkan dengan densitas isi 40%, 60%, 80% dan 100%.

Tabel 4. Perbandingan Hasil Pencetakan

Kolom 1	Nilai Pencetakan 1	Nilai Pencetakan 2
<i>Infill Print Speed</i> (mm/s)	100	100
<i>Fill Density</i> (%)	30	60
<i>Nozzle Temperature</i> (C)	200	200
<i>Layer Height</i> (mm)	0,4	0,1
<i>Time process</i> (minutes)	50	228

Mengacu dari penelitian tersebut, *fill density* (densitas isi) memberikan pengaruh terhadap ketelitian akurasi ukuran karena terdapat penyusutan ukuran akibat perubahan fase dari padat menjadi cair dan padat kembali. Pada penelitian ini ditemukan densitas isi 60% memberikan penyimpangan 0,2 mm dan lebih padat dibandingkan densitas 30%. Ada dugaan kekuatan tarik benda 2 lebih besar dari benda 1. Penelitian Cahyati dan Furqon (2022) menemukan hasil uji tarik dengan *height layer* 0,1 mm diperoleh kekuatan tarik rata-rata 8,09 MPa, sedangkan *height layer* 0,3 mm rata-rata 10,61 MPa. Artinya *height layer* 0,1 memiliki kekuatan tarik lebih rendah dari pada 0,3 mm. Namun keseluruhan benda yang diuji menggunakan *fill density* yang sama. Dengan perbandingan tersebut dapat diketahui bahwa *fill density* menjadi parameter utama dalam menyusun kepadatan struktur benda kerja.

Selain Teknik pencetakan produk 3D *Printing*, biaya produksi merupakan hal yang perlu dipertimbangkan, karena berkaitan dengan nilai ekonomis. Waktu mencetak produk 3D *Printing* menentukan biaya produksi. Dari Gambar 7 terlihat bahwa durasi pencetakan berbanding terbalik dengan *layer height*. Artinya semakin kecil nilai *layer height*, maka semakin lambat waktu pencetakan. Sebaliknya jika semakin besar nilai *layer height*, maka semakin cepat waktu pencetakan produk. Pemilihan *layer height* yang sesuai kebutuhan sangat membantu menekan biaya produksi. Misalnya kebutuhan produk *prototype gear* tidak memerlukan kekuatan tarik tinggi, namun memerlukan kepadatan isi yang optimal, sehingga strateginya mengutamakan *fill density* tinggi dibandingkan *layer height*, yang mana mengurangi waktu pencetakan produk.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Produk *prototype gear* yang dibuat menggunakan 3D *Printing* dengan akurasi tinggi. Ukuran prototipe mendekati ukuran desain yaitu ketebalan 10 mm. Pembuatan *prototype gear* dengan parameter *fill density* (densitas isi) 60% dan *layer height* 0,1 mm menciptakan kekuatan lebih, sehingga tidak pecah. Hasil yang didapatkan sesuai kebutuhan konsumen yang membutuhkan model roda gigi untuk bahan analisis. Di sisi lain dengan *layer height* 0,1 proses pencetakan membutuhkan waktu 228 menit, sehingga pembuatan produk lebih cepat dibandingkan sebelumnya empat hari dan konsumen dapat melakukan perbaikan kerusakan mesin lebih cepat dengan sampel *prototype*. *Prototype* yang dibuat lebih singkat dengan material *Polylactic Acid* (PLA) dan mampu menurunkan biaya produksi (ekonomis).

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami haturkan kepada seluruh pihak yang telah memberikan dukungan berupa perijinan pengambilan data penelitian maupun dana penelitian.

REFERENSI

Cahyati, S., & Furqon, Y. Al. (2022). the Layer Height Variations Effect on Tensile Strength of 3D Printing Product Pla Material Based. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 13(3), 647–657.

<https://doi.org/10.21776/jrm.v13i3.823>

- Civilization, I., TEMA 19, & Domenico, E. (2021). *No 主観的健康感を中心とした在宅高齢者における健康関連指標に関する共分散構造分析Title. 2(10), 6.*
- Gunawan, R. (2020). Pengaruh Densitas Isi terhadap Ketelitian Dimensi pada Produk Mesin 3D Printing. *Mesin, 11(1)*, 15–19. <https://doi.org/10.25105/ms.v11i1.7438>
- Izhardas, J. M., & Lubis, S. (2023). *PEMANFAATAN 3D PRINTING UNTUK PEMBUATAN PEMEGANG TOOLS DI WORKSHOP GO KART pembuatan prototype ataupun produk dapat dilakukan dengan mudah , cepat dan secara detail . 3D mencetak di bidang alat-alat peraga untuk : (a) pendidikan ; (b) model perhiasan . 1(1), 27–34.*
- Kartadipura, R. H. (2013). Analisis Pemilihan Material Beton Dan Material Baja Sebagai Alternatif Material Pengganti Kayu Ulin. *Jurnal Teknik Sipil, 2(3)*, 237–246.
- Kyratsis, P., Gabis, E., Tzotzis, A., Tzetzis, D., & Kakoulis, K. (2019). CAD based product design: A case study. *International Journal of Modern Manufacturing Technologies, 11(3 Special Issue)*, 110–115.
- Lubis, G. S., Taufiqurrahman, M., & Ivanto, M. (2021). Analisa Pengaruh Parameter Proses Terhadap Uji Tarik Produk Hasil 3D Printing Berbahan Polylatic Acid. *Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, Dan Material, 5(2)*, 39. <https://doi.org/10.30588/jeemm.v5i2.877>
- Lubis, S. Y., Riza, A., Wijaya, A. H., & Ariyanti, S. (2023). Optimasi Parameter 3D Printing Terhadap Kualitas Produk Bahan Acrylonitrile Butadiene Styrene. *Jurnal PASTI (Penelitian Dan Aplikasi Sistem Dan Teknik Industri), 17(1)*, 58. <https://doi.org/10.22441/pasti.2023.v17i1.006>
- Msallem, B., Neha, S., Shuaishuai, C., Halbeisen, F. S., & Hans-Florian Zeilhofer, F. M. T. (2020). Evaluation of the Dimensional Accuracy of 3D-Printed Anatomical Mandibular Models Using. *Journal of Clinical Medicine, 9(3)*, 1–18.
- Prasetyo, E., Hermawan, R., Ridho, M. N. I., Hajar, I. I., Hariri, H., & Pane, E. A. (2020). Analisis Kekuatan Rangka Pada Mesin Transverse Ducting Flange (TDF) Menggunakan Software Solidworks. *Rekayasa, 13(3)*, 299–306. <https://doi.org/10.21107/rekayasa.v13i3.8872>
- Sathishkumar, N., Udayakumar, A. S. M., Vincent, B., & Ashok Kumar, V. (2020). Study and Analysis of 3D Printed FDM Components by Non-Destructive Testing Techniques. *International Journal of Research and Review (Ijrrjournal.Com), 7(5)*, 5.
- Subandi, H. (2021). *Augmented Reality dalam Mendeteksi Produk Rotan menggunakan Metode Multimedia Development Life Cycle (MDLC). 6(2), 135–141.*
- Utami, M., Zaliani, R., Utami, P. K., & Adha, M. A. (2022). Pengaruh Kualitas Produk, Desain Produk, Dan Harga Produk Terhadap Kepuasan Pembelian Konsumen Brand Appel Iphone. *Jurnal Ekonomi Dan Manajemen, 2(1)*, 24–30. <https://doi.org/10.56127/jekma.v2i1.406>
- Welander, T., & Amin, N. (2018). *G-code Modeling for 3D Printer Quality Assessment.* <https://www.researchgate.net/publication/331688882>
- Widyastuti, P. A. (2020). Pembelajaran 3D Printing sebagai metode perancangan produk kostum (Studi Kasus: industri cosplay). *Productum: Jurnal Desain Produk (Pengetahuan Dan Perancangan Produk), 3(7)*, 231–238. <https://doi.org/10.24821/productum.v3i7.3378>