

**SIMULASI PEMBEBANAN GANTRY CARRIAGE ARAH SUMBU Z BERBAHAN PLA  
MENGUNAKAN SOFTWARE AUTODESK INVENTOR 2020  
UNTUK KOMPONEN MESIN 3D PRINTER**

**Satriawan Dini Hariyanto<sup>1</sup>, Venditias Yudha<sup>1</sup>, Nidia Lestari<sup>1</sup>,  
Yuli Purwanto<sup>1</sup>, Slamet Budiyo<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Jurusan Teknik Mesin, IST AKPRIND Komplek Balapan, Kota, Jl. Kalisahak No.28, Klitren,  
Gondokusuman, Kota Yogyakarta, Daerah Istimewa Yogyakarta, 55222  
satriawan@akprind.ac.id*

**ABSTRAK**

*Additive Manufacturing (AM)* menjadi salah satu faktor kunci berkembangnya era industri 4.0. *Fused Deposition Modelling (FDM)* adalah salah satu metode AM yang saat ini memiliki perkembangan paling pesat dan yang paling banyak diminati dibandingkan metode AM lain seperti : *binder jetting (BJ)*, *directional energy deposition (DED)*, *material jetting (MJ)*, *powder based fusion (PBF)*, *sheet lamination (SL)*, dan *vat photopolymerization (VP)*. Metode FDM memiliki keunggulan dari sisi kemampuan menghasilkan produk dengan variasi material penyusunnya, mampu memfabrikasi produk dengan tingkat geometri yang kompleks, dan rendahnya material sisa dari proses fabrikasi (*zero waste*). Mesin FDM dirancang untuk memproses material dengan bahan baku berupa filamen yang terbuat dari bahan polimer maupun logam. Simulasi pembebanan *gantry carriage (GC-Z)* yang berbahan *polylactic acid (PLA)* telah berhasil dilakukan dengan kombinasi pembebanan beban massa motor *stepper* dan tegangan *timing belt* dengan nilai 2,35 N dan 29,43 N. Hasil simulasi menunjukkan nilai konsentrasi tegangan terbesar yang timbul pada struktur GC-Z sebesar 0,523 MPa yang berlokasi di bagian batas struktur yang mengalami perubahan nilai diameter 10,2 mm ke 8,5 mm. Nilai tegangan Von Mises maksimum bernilai 1,37 % dari nilai *yield strength* material PLA sebesar 38 MPa, sehingga desain GC-Z layak untuk digunakan sebagai komponen mesin 3D printer. Selain itu diperoleh data nilai *displacement* sebesar 0,0032 mm dengan *safety factor* 15.

Kata kunci : *fused deposition modelling, gantry carriage, 3D Printer, PLA.*

**ABSTRACT**

*Additive Manufacturing (AM)* is one of the key factors in the industrial era 4.0. *Fused Deposition Modeling (FDM)* currently has rapid development and is the most popular compared to other AM methods such as: *binder jetting (BJ)*, *directional energy deposition (DED)*, *material jetting (MJ)*, *powder based fusion (PBF)*, *sheet lamination (SL)*, and *vat photopolymerization (VP)*. The FDM method has advantages in terms of the ability to produce products with a variety of constituent materials, being able to fabricate products with a complex geometric level, and low waste material from the fabrication process (*zero waste*). FDM machines are designed to process materials with raw materials in the form of filaments made of polymer or metal. The simulation of *gantry carriage (GC-Z)* loading made from *polylactic acid (PLA)* has been successfully carried out with a combination of *stepper motor mass loading* and *timing belt stresses* with a value of 2.35 N and 29.43 N respectively. The results show the largest stress concentration values that arise on the GC-Z structure of 0.523 MPa which is located at the boundary of the structure which changes the diameter value from 10.2 mm to 8.5 mm. The Von

*Misses stress value is a maximum value of 1.37% of the PLA material yield strength value of 38 MPa, so the GC-Z design is suitable for use as a component for a 3D printer machine. In addition, the data obtained displacement value of 0.0032 mm with a safety factor of 15.*

*Keywords: fuse deposition modelling, gantry carriage, 3D printer, PLA.*

## 1. PENDAHULUAN

*Additive manufacturing (AM) sebagai salah satu faktor kunci pada perkembangan teknologi 4.0 telah mengalami banyak kemajuan. Hal ini didukung oleh semakin meningkatnya permintaan terhadap produk dan layanan yang berkaitan dengan AM. Topik penelitian di bidang FDM yang banyak dibahas mencakup berbagai komponen sistem penyusun mesin FDM antara lain : variasi jenis filamen untuk fabrikasi produk dengan fungsi spesifik, modifikasi *liquefier and print head (LPH)*, *build surface (BS)*, dan *build environment (BE)*, analisis *mechanical properties* terhadap produk hasil fabrikasi, serta investigasi proses perpindahan kalor dan *computational fluid dynamic (CFD)* pada sistem FDM. Penelitian yang dilakukan oleh [1] pada proses fabrikasi produk elektronik berupa resistor, konduktor, induktor, dan kapasitor dengan menggunakan mesin FDM diperoleh hasil yang menunjukkan bahwa fleksibilitas mesin FDM standar pabrikan dapat digunakan untuk memmanufaktur berbagai komponen elektronik. Selain itu produk elektronik berupa *high-pass-filter* dengan kemampuan filter -3 dB berhasil dibuat dengan bahan material filamen konduktif. [2] meneliti metode untuk memaksimalkan hasil fabrikasi mesin FDM. Bahan yang digunakan adalah HDPE (*high density polyethylene*). HDPE memiliki nilai *shrinkage* yang besar sehingga bahan ini lebih banyak digunakan pada proses *injection moulding*. Mereka menemukan pengaturan parameter terbaik untuk memproses HDPE dengan menggunakan mesin FDM pabrikan yang telah dimodifikasi pada bagian *Liquifier and Print Head (LPH)* dan *Build Surface (BS)*, sehingga hasil fabrikasinya memiliki kualitas mendekati produk yang dihasilkan oleh proses *injection moulding*. [3] telah melakukan investigasi terhadap pengaruh *surface treatment* pada produk yang dihasilkan dari proses FDM. Pada penelitian tersebut CVD (*chemical vapor deposition*) dilakukan dengan menggunakan bahan *acetone* dan *ethyl acetate* untuk memodifikasi permukaan produk berbahan ABS hasil fabrikasi proses FDM. Penelitian yang dilakukan oleh [4] membahas mengenai penggabungan proses manufaktur menggunakan FDM dan non-konvensional *machining*. Pada penelitian tersebut FDM digunakan untuk membuat cetakan (*mold*) yang kemudian dilanjutkan dengan pembuatan produk yang terbuat dari logam tembaga dengan menggunakan metode *electroforming*. Pada penelitian tersebut diperoleh produk multi material polimer-logam yang terdistribusi pada lapisan-lapisan yang susunannya dapat diatur sesuai desain produk yang dibuat. Modifikasi *build surface* mesin FDM dilakukan untuk mengakomodasi proses *electroforming*. [5] meneliti pengaruh *Liquifier* dan *Print Head (LPH)* terhadap gaya yang dibutuhkan filamen agar dapat terdorong menuju *build surface (BS)*. Penelitian tersebut membandingkan sebelas unit *nozzle* yang terdiri dari lima buah *nozzle* pabrikan dan enam *nozzle* hasil modifikasi dengan diameter pada rentang 0,40-0,65 mm. Selain itu, mereka juga mengamati model matematis yang dibuat oleh para peneliti sebelumnya dengan membandingkannya dengan data eksperimental yang telah dilakukan.*

Pada tahun 2010 nilai permintaan terhadap produk dan layanan yang berkaitan dengan *additive manufacturing* sebesar 1.325 miliar USD dan diprediksi mencapai 5.000 miliar USD pada tahun 2020 [6]. *Additive Manufacturing* adalah proses pembuatan produk tiga dimensi dengan cara mendeposisi kan material secara berangsur-angsur dalam suatu lapisan (*layer*) yang prosesnya dikontrol menggunakan program komputer. Berdasarkan standar ASTM 52900:2015

(F2792) ada delapan jenis metode AM, yaitu : *binder jetting* (BJ), *directional energy deposition* (DED), *material extrusion* (ME), *material jetting* (MJ), *powder based fusion* (PBF), *sheet lamination* (SL), dan *vat photopolymerization* (VP). Keunggulan yang dimiliki oleh AM dibandingkan dengan metode pembuatan produk lainnya antara lain : proses manufaktur produk dapat dilakukan secara langsung dari file CAD, fleksibilitas produk yang dihasilkan tinggi, dapat memproses produk dengan geometri yang rumit, dan material sisa yang dihasilkan dari proses fabrikasi sangat rendah [7]. *Material extrusion* (ME) merupakan metode AM yang paling banyak digunakan saat ini. ME juga dikenal dengan sebutan *fused deposition modelling* (FDM) atau *fused filament fabrication* (FFF). Dalam proses fabrikasi produk, FDM menggunakan material polimer berbentuk filamen padat yang dipanaskan lalu dideposisikan *layer demi layer* melalui *nozzle* berdiameter 200-500 mikron yang dapat bergerak ke arah x, y, dan z sesuai sumbu kartesian[8]. Variasi jenis material yang digunakan pada FDM bergantung pada ketersediaan jenis filamen. Beberapa jenis polimer yang banyak digunakan adalah *polyactic acid* (PLA) dan *acrylonitrile butadiene styrene*(ABS). Mesin FDM tersusun dari beberapa sistem utama, yaitu : *material feed mechanism* (MFM), *liquefier dan print head* (LPH), *gantry*, *build surface* (BS), dan *build environment* (BE)[6][9]. MFM adalah bagian yang berfungsi mengatur gerakan filamen, LPH adalah sistem pengatur proses perubahan fase material filamen, *gantry* merupakan bagian yang menyusun rangka konstruksi mesin, BS adalah permukaan tempat melekatnya lapisan polimer pertama dalam pembuatan suatu produk, BE merupakan sistem konstruksi dan pengatur kondisi kelembaban mesin. Pada penelitian ini, simulasi pembebanan terhadap komponen *gantry* berbahan PLA untuk mengakomodasi gerakan mesin (*Gantry carriage*) pada arah sumbu Z dilakukan menggunakan software autodesk inventor 2020. Simulasi pembebanan bertujuan untuk mengetahui respon konstruksikomponen *gantry carriage* pada saat menerima pembebanan.

## 2. MATERIAL

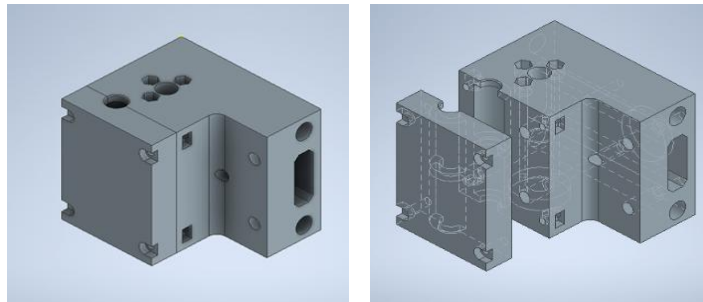
Material yang digunakan sebagai bahan Gantry Carriage untuk arah sumbu Z (GC-Z) adalah material *polyactic acid* (PLA). Sifat mekanik dari material PLA ditunjukkan pada Tabel 1[10].

Tabel 1. Sifat mekanik material PLA

No.	Sifat Mekanik	Nilai	Satuan
1	<i>Tensile Strength, Yield</i>	38	Mpa
2	<i>Tensile Strength, Ultimate</i>	47.2	Mpa
3	<i>Modulus of Elasticity</i>	2.91	Gpa
4	<i>Sheear modulus</i>	2.4	GPa
5	<i>Density</i>	1290	Kg/m <sup>3</sup>
6	<i>Poisson ratio</i>	0.203	

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Desain dari gantry carriage sumbu Z (GC-Z) mesin 3D printer tipe cartesian yang telah dibuat ditunjukkan pada Gambar 1.

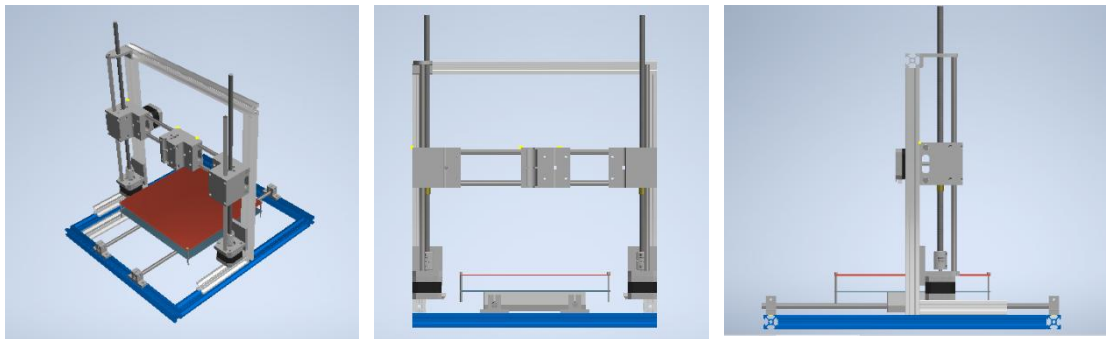


Gambar 1. Desain gantry carriage sumbu Z (GC-Z)

Tahapan yang dilakukan pada analisis pembebanan komponen GC-Z menggunakan software autodesk inventor 2020 adalah sebagai berikut :

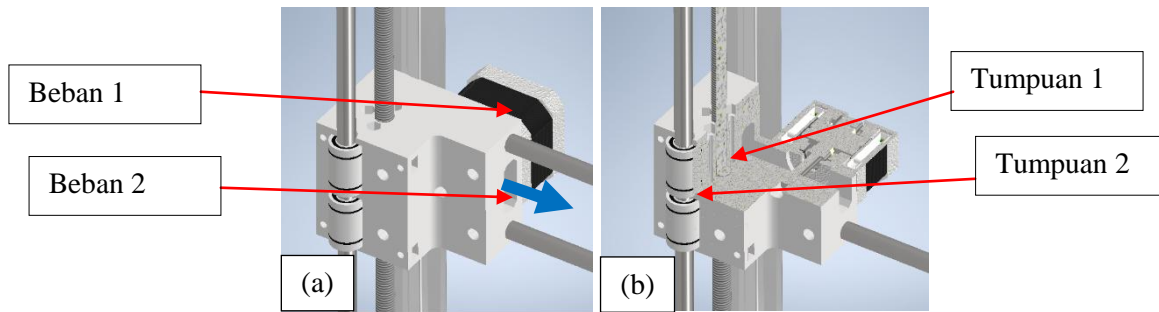
#### 3.1 Pre-Processing

Pada tahap pre-processing dilakukan pemodelan konsep desain ke dalam bentuk 3D atau dikenal juga sebagai proses *digital prototyping*. Pada tahap ini seluruh komponen yang menyusun konstruksi mesin 3D printer digabung dalam satu file assembly, sehingga diperoleh satu gambaran utuh desain mesin 3D printer dengan berbagai komponen penyusunnya. Desain mesin 3D printer yang dirancang pada penelitian ini adalah jenis cartesian seperti pada Gambar 2.



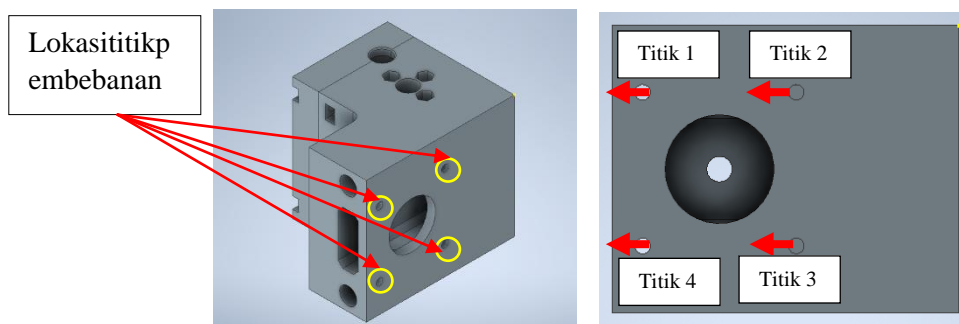
Gambar 2 Desain tiga dimensi mesin 3D printer

Berdasarkan data desain tiga dimensi mesin, langkah berikutnya adalah menganalisis kondisi batas (*boundary condition*) yang akan digunakan untuk mensimulasikan pembebanan yang dialami oleh komponen GC-Z. Berdasarkan Gambar 3 dapat diketahui bahwa komponen tersebut memiliki beberapa titik pembebanan dan tumpuan.



Gambar 3. (a) Posisi beban di komponen GC-Z pada saat *assembly* dan (b) Lokasi tumpuan dan titik pembebanan

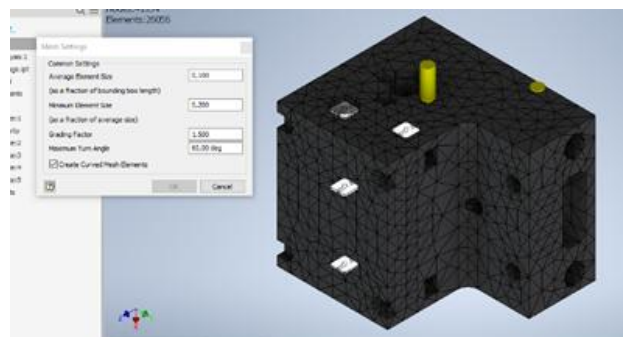
Pembebanan yang terjadi pada GC-Z terdiri atas dua jenis, yaitu pembebanan timbul akibat adanya motor listrik bermassa 0,24 Kg (Beban 1) yang setara dengan 2,35 N dan pembebanan yang timbul akibat tegangan *timing belt* (Beban 2) yang dalam penelitian ini ditentukan sebesar 3 Kg atau senilai dengan 29,43 N yang posisinya terbagi pada empat titik seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. (a) Lokasi titik pembebanan akibat tegangan *timing belt* dan (b) Arah pembebanan

### 3.2 Processing

Tahapan processing terdiri dari dua proses, yaitu pengaturan *mesh* (Gambar 5) dan proses running analisis pembebanan. Pengaturan *mesh* bertujuan untuk menentukan tingkat akurasi perhitungan yang akan dilakukan pada simulasi pembebanan.



Gambar 5. Pengaturan *mesh* pada tahap *processing*

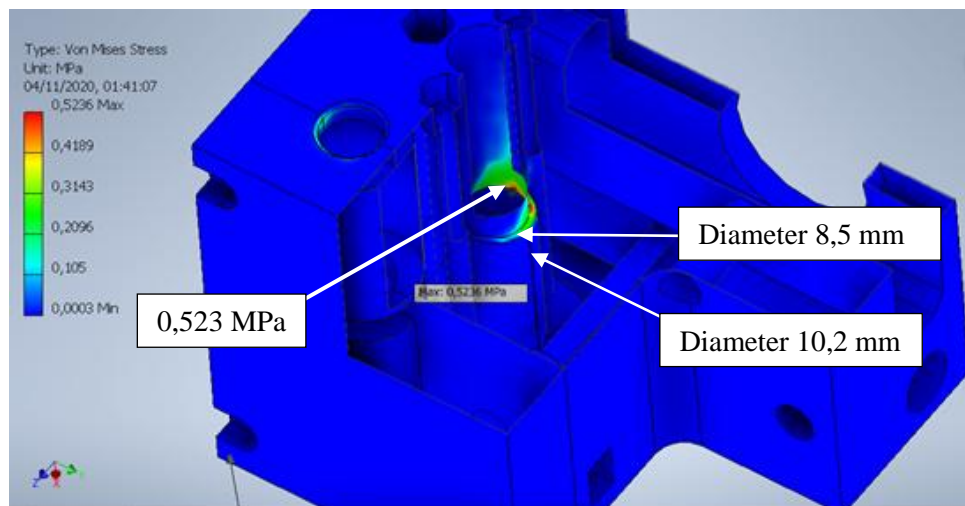
Pengaturan mesh sangat penting untuk menjaga tingkat akurasi simulasi perhitungan. Adapun pertimbangan lain yang perlu dilakukan agar proses simulasi dapat berjalan dengan lancar adalah faktor spesifikasi processor dan memory dari komputer yang digunakan. Pada penelitian ini mesh yang digunakan memiliki parameter pengaturan nilai ukuran elemen rata-rata (*average element size*) sebesar 0,1; ukuran elemen minimal (*minimum element size*) sebesar 0,2; *grading factor* sebesar 1,5; *minimum turn angle* 60 derajat seperti ditunjukkan pada Tabel 3.1. Jumlah elemen yang dihasilkan dari pengaturan mesh ini adalah senilai 26056 elemen.

Tabel 2. Setting parameter mesh

No	Parameter pengaturan mesh	nilai
1	<i>average element size</i>	0,1
2	<i>minimum element size</i>	0,2
3	<i>grading factor</i>	1,5
4	<i>minimum turn angle</i>	60 derajat

### 3.3 Post-Processing

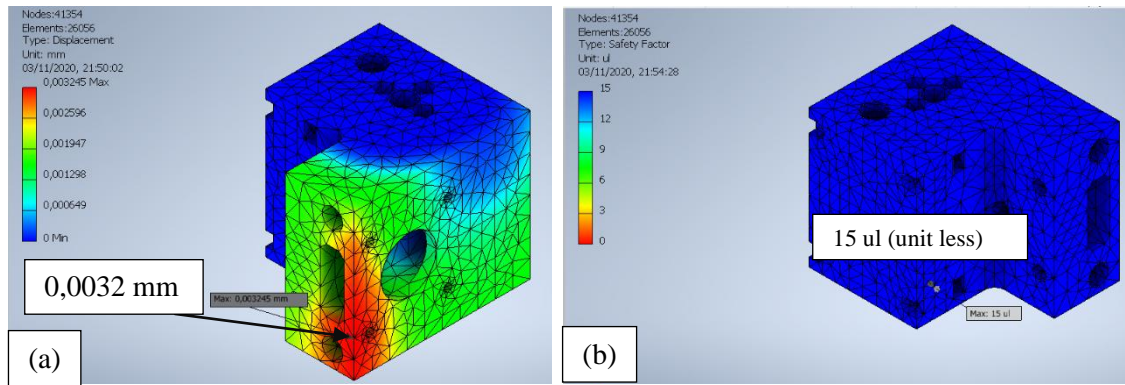
Tahap post-processing merupakan tahap terakhir pada simulasi pembebanan menggunakan software autodesk inventor 2020. Di tahap ini, diperoleh data hasil simulasi pembebanan yang mencakup data *Von Mises Stress*, *displacement*, dan *safety factor*. Simulasi pembebanan terhadap komponen GC-Z berbahan PLA menunjukkan nilai Von Mises Stress terbesar adalah 0,5236 MPa yang posisinya berada pada lokasi Tumpuan 1. Pada lokasi munculnya Von Mises Stress terbesar dapat diamati adanya geometri yang menunjukkan perubahan penampang secara mendadak seperti ditunjukkan pada Gambar 6. Perubahan geometri berupa penyusutan diameter pada desain GC-Z yang bernilai 10,2 mm ke 8,5 mm menimbulkan konsentrasi tegangan sebesar 0,523 MPa.



Gambar 6. Von Mises Stress pada komponen GC-Z

Apabila dibandingkan dengan nilai tegangan luluh (*yield strength*) material PLA yang bernilai 38 Mpa, konsentrasi tegangan yang terjadi sebesar 0,523 MPa masih berada di bawah nilai tegangan luluh, sehingga konstruksi desain part GC-Z aman untuk digunakan. Identifikasi nilai *displacement* yang ditimbulkan dari proses simulasi

pembebanan menunjukkan nilai maksimum yang timbul adalah sebesar 0,0032 mm dengan nilai *safety factor* 15 (Gambar 3.7). Hal ini menunjukkan bahwa pembebanan sebesar 2,35 N yang timbul dari massa motor stepper dan pembebanan akibat tegangan *timing belt* sebesar 29,43 N yang diberikan tidak berpengaruh secara signifikan dalam perubahan kondisi struktur part GC-Z.



Gambar 3.7(a) Nilai *displacement* pada simulasi pembebanan dan (b) nilai *safety*

#### 4. KESIMPULAN

Simulasi pembebanan *gantry carriage* berbahan PLA telah berhasil dilakukan. Simulasi pembebanan dengan menggunakan kombinasi pembebanan berupa beban massa motor *stepper* dan tegangan *timing belt* dengan nilai 2,35 N dan 29,43 N menunjukkan nilai konsentrasi tegangan terbesar yang timbul pada struktur GC-Z sebesar 0,523 MPa yang berlokasi di bagian yang mengalami perubahan nilai diameter 10,2 mm ke 8,5 mm. Nilai tegangan Von Mises maksimum bernilai 1,37 % dari nilai *yield strength* material PLA sebesar 38 MPa, sehingga desain GC-Z layak untuk digunakan sebagai komponen mesin 3D printer. Selain itu diperoleh data nilai *displacement* sebesar 0,0032 mm dengan *safety factor* 15.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

- P. F. Flowers, C. Reyes, S. Ye, M. J. Kim, and B. J. Wiley, "3D printing electronic components and circuits with conductive thermoplastic filament," *Addit. Manuf.*, vol. 18, no. 2017, pp. 156–163, 2017, doi: 10.1016/j.addma.2017.10.002.
- C. G. Schirmeister, T. Hees, E. H. Licht, and R. Mülhaupt, "3D printing of high density polyethylene by fused filament fabrication," *Addit. Manuf.*, vol. 28, no. May, pp. 152–159, 2019, doi: 10.1016/j.addma.2019.05.003.
- M. Mu, C. Y. Ou, J. Wang, and Y. Liu, "Surface modification of prototypes in fused filament fabrication using chemical vapour smoothing," *Addit. Manuf.*, vol. 31, p. 100972, 2020, doi: 10.1016/j.addma.2019.100972.
- R. Matsuzaki, T. Kanatani, and A. Todoroki, "Multi-material additive manufacturing of polymers and metals using fused filament fabrication and electroforming," *Addit. Manuf.*, vol. 29, no. February, 2019, doi: 10.1016/j.addma.2019.100812.
- V. Nienhaus, K. Smith, D. Spiehl, and E. Dörsam, "Investigations on nozzle geometry in fused filament fabrication," *Addit. Manuf.*, vol. 28, no. May, pp. 711–718, 2019, doi: 10.1016/j.addma.2019.06.019.

- 
- B. N. Turner, R. Strong, and S. A. Gold, "A review of melt extrusion additive manufacturing processes: I. Process design and modeling," *Rapid Prototyp. J.*, vol. 20, no. 3, pp. 192–204, 2014, doi: 10.1108/RPJ-01-2013-0012.
- N. Abdoulmoumine, S. Adhikari, A. Kulkarni, and S. Chattanathan, "A review on biomass gasification syngas cleanup," *Appl. Energy*, vol. 155, pp. 294–307, 2015, doi: 10.1016/j.apenergy.2015.05.095.
- K. Kun, "Reconstruction and development of a 3D printer using FDM technology," *Procedia Eng.*, vol. 149, no. June, pp. 203–211, 2016, doi: 10.1016/j.proeng.2016.06.657.
- T. Letcher, "Imece2014-39379 Material Property Testing of 3D-Printed Specimen," *Proc. ASME 2014 Int. Mech. Eng. Congr. Expo.*, pp. 1–8, 2016.
- C. Jiang and G. F. Zhao, "A Preliminary Study of 3D Printing on Rock Mechanics," *Rock Mech. Rock Eng.*, vol. 48, no. 3, pp. 1041–1050, 2015, doi: 10.1007/s00603-014-0612-y.