

# MONITORING DAN ANALISIS MESIN 3D PRINTING BERBASIS SENSOR GETARAN UNTUK MENGOPTIMALKAN KUALITAS HASIL

Ikhwan Taufik<sup>1,a</sup>, Herianto<sup>2,b</sup>, dan M. K. Herliansyah<sup>3,c</sup>

<sup>1</sup>Program Studi S2 Teknik Mesin, Departemen Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Jl. Grafika No 2 Yogyakarta 55281, Indonesia.

<sup>2,3</sup>Departemen Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Jl. Grafika No 2 Yogyakarta 55281, Indonesia.

<sup>a</sup>ikhwan@politeknik-kebumen.ac.id, <sup>b</sup>herianto@ugm.ac.id, <sup>c</sup>herliansyah@ugm.ac.id

## Abstrak

Dewasa ini, teknologi *printing* tidak terbatas untuk media kertas, plastik, maupun bidang datar lainnya. Teknologi *printing* mampu mencetak suatu benda secara tiga dimensi (3D) sesuai dengan bentuk gambar *soft file*-nya. Kebanyakan, teknologi *printing* ini digunakan untuk membuat atau mencetak sebuah benda *prototype* ataupun benda yang tidak diproduksi secara massal. Aplikasi teknologi 3D *printing* ini dapat dijumpai di bidang industri, kesehatan, arsitektur, *fashion*, bahkan makanan. Penelitian ini mengangkat salah satu teknik dari proses 3D *Printing*, yaitu *Fused Deposition Modeling (FDM)* yang menerapkan proses *Material Extrusion* untuk membangun suatu produk tiga dimensi. Material yang dilelehkan adalah *filament* dari bahan termoplastik, kawat logam, atau bahan lainnya. *Filament* tersebut dimasukkan ke bagian *extruder (nozzle kepala ekstrusi pada 3D Printing)* lalu dilelehkan dengan cara dipanaskan. Model diproduksi oleh ekstrusi aliran material yang membentuk lapisan-lapisan dan kembali mengeras dengan segera. Proses ekstrusi dalam pembuatan model dari material tersebut tentu akan menimbulkan suatu gerakan dan getaran yang disebabkan oleh proses *printing* yang sedang berjalan. Artikel ini menyajikan hasil pengukuran getaran pada mesin 3D *Printer* dan hasil pengukuran tingkat kekasaran permukaan pada spesimen hasil proses *printing* menggunakan mesin 3D *Printer C01* dengan tipe kartesian. Selain itu, penelitian ini bertujuan untuk mempelajari dan menganalisis besarnya getaran yang dihasilkan selama proses *printing* berlangsung. Hal tersebut dikaitkan dengan dampak yang terjadi terhadap kualitas hasil *printing*. Dengan adanya monitoring selama proses *printing*, hal ini diharapkan dapat memprediksi tingkat kualitas hasil *printing* secara lebih dini. Namun, hasil pengukuran pada penelitian ini ternyata tidak terlihat adanya pengaruh yang cukup signifikan. Getaran yang cukup terlihat adalah getaran yang terjadi pada sumbu X. Sementara itu, hasil pengukuran *Surface Roughness* untuk spesimen pertama, yaitu spesimen dengan kecepatan *printing* 50% mempunyai tingkat kekasaran permukaan rata-rata sebesar  $\bar{R}_a = 8.6485 \mu\text{m}$ . Spesimen dengan kecepatan *printing* 100% mempunyai tingkat kekasaran permukaan rata-rata sebesar  $\bar{R}_a = 8.2893 \mu\text{m}$ . Spesimen dengan kecepatan *printing* 200% mempunyai tingkat kekasaran permukaan rata-rata sebesar  $\bar{R}_a = 7.864 \mu\text{m}$ .

Kata Kunci: 3D *Printer*, *FDM*, *Getaran*, *Surface Roughness*.

## Abstract

Today, *printing technology* not only talking about paper, plastic, and the other flat media. *Printing technology* can make a three dimensional object like the picture at the *soft file*. Mostly, the *printing technology* is used to create or print a *prototype object* and object that is not mass-produced. The application of 3D *printing technology* can be found in industry, health, architecture, fashion, and even food. This research raises one of the techniques of 3D *Printing technology*. That is *Fused Deposition Modeling (FDM)* which applies *Material Extrusion* process to build a three dimensional product. The material is *filament* made of thermoplastic material, metal wire, and other. The *filament* is inserted into the *extruder part (extrusion head nozzle in 3D Printing machine)* and melted by heating. Models are produced by extrusion of material streams that form layers and re-harden immediately. Extrusion process in making the model of the material will certainly cause a movement and vibration caused by the *printing process* is running. This article presents the results of vibration measurements on a 3D *printer machine* and the result of measuring the surface roughness level on the specimens of the *printing process* using a 3D *printer C01*. The Type is cartesian. In addition, this study aims to study and analyze the amount of vibration generated during the *printing process* takes place. It is associated with the impact that occurs on the quality of *printing*. With the monitoring during the *printing process*, it is expected to predict the level of quality of the *printing results* more early. However, the results of the measurements in this study was not seen any significant influence. The visible vibration is just on the X axis. *Surface Roughness* measurements for the first specimen, the specimens with 50% *printing speed* have an average surface roughness level of  $\bar{R}_a = 8,6485 \mu\text{m}$ . Specimens with 100% *printing speed* have an average surface roughness level of  $\bar{R}_a = 8.2893 \mu\text{m}$ . Specimens with 200% *printing speed* have an average surface roughness level of  $\bar{R}_a = 7.864 \mu\text{m}$ .

Keyword: 3D *Printer*, *FDM*, *Vibration*, *Surface Roughness*.

## PENDAHULUAN

*3D Printing* atau *Additive Manufacturing* adalah istilah umum bagi teknologi yang didasarkan pada representasi geometri untuk menciptakan benda-benda fisik dengan metode penambahan material secara berturut-turut. *3D Printing* juga dikatakan sebagai proses pembuatan benda-benda fisik dari model digital dengan cara mengendapkan atau mengeraskan material selapis demi selapis [1]. Teknologi ini digunakan untuk berbagai penerapan, yaitu di bidang industri, kesehatan, pendidikan, arsitektur, pemetaan, mainan, dan hiburan [2]. Banyaknya pengembangan teknologi *3D Printing* di berbagai bidang ini tidak terlepas dari banyaknya potensi keuntungan. Teknologi ini diklaim sebagai salah satu solusi jika hendak membuat produk dengan jumlah sedikit, bernilai tinggi, dan sangat kompleks [3]. Selain itu, teknologi ini juga mampu menjawab tantangan dari konsumen yang menginginkan suatu produk dengan fleksibilitas tinggi [4].

Istilah lain tentang teknologi *3D Printing* adalah *Rapid Prototyping*. Istilah tersebut mengacu pada kelas teknologi yang dapat secara otomatis membuat model fisik dari data *Computer Aided Design (CAD)* atau sekelompok teknik yang digunakan untuk membuat model skala dengan cepat dari bagian fisik atau perakitan menggunakan data dari *Three Dimensional (3D) Computer Aided Design (CAD)* [5]. Selain itu, *Solid Freeform Fabrication* maupun *Layered Manufacturing* juga termasuk istilah yang menggambarkan teknologi.

Selain adanya berbagai istilah tentang teknologi *3D Printing*, metode atau teknik yang digunakan juga cukup banyak. *American Society for Testing and Materials (ASTM)* telah menerbitkan standar klasifikasi proses *Additive Manufacturing* menjadi 7 kategori. Standar klasifikasi ini bertujuan untuk memperjelas dan membedakan antara satu jenis teknik pemrosesan dengan jenis lainnya. Ketujuh kategori tersebut yaitu [6]:

1. *Binder Jetting*
2. *Directed Energy Deposition*
3. *Material Extrusion*
  - *Fused Deposition Modeling (FDM)*
  - *Fused Filament Fabrication (FFF)*
  - *Contour Crafting*
4. *Material Jetting*
5. *Powder Bed Fusion*
  - *Selective Laser Sintering (SLS)*
  - *Direct Metal Laser Sintering (DMLS)*
6. *Sheet Lamination*
7. *Vat Photopolymerization*
  - *Stereo Lithography (SLA)*
  - *Digital Light Processing (DLP)*
  - *Continuous Liquid Interface Production (CLIP)*

Penelitian ini mengangkat salah satu teknik dari proses *3D Printing*, yaitu teknik *Fused Deposition Modeling (FDM)* yang menerapkan proses *Material Extrusion* untuk membangun suatu produk tiga dimensi. Pada teknik FDM yang ditemukan pertama kali oleh Scott Crump (*Stratasys Inc.*) dan telah dipatenkan pada tahun 1989 ini terdapat proses pelelehan material, ekstrusi, dan deposisi. Material yang dilelehkan adalah *filament* dari bahan termoplastik, kawat logam, atau bahan lainnya. *Filament* tersebut dimasukkan ke bagian *extruder (nozzle kepala ekstrusi pada 3D Printing)* lalu dilelehkan dengan cara dipanaskan. Model diproduksi oleh ekstrusi aliran material yang membentuk lapisan-lapisan dan kembali mengeras dengan segera.

Bagian *print head* ataupun kepala ekstrusi dikaitkan dengan sistem mekanis yang memungkinkan pergerakan ke arah horizontal (sumbu x dan y). Gerakan tersebut diperoleh dari motor stepper yang diteruskan dengan mekanisme *gear* dan *belt* [7]. Konstruksi lain *3D Printing* juga ada yang menggunakan *lead screw* atau *ball screw*.

Proses ekstrusi dalam pembuatan model dari material tersebut tentu akan menimbulkan suatu gerakan dan getaran yang disebabkan oleh proses *printing* yang sedang berjalan. Proses ini akan mempunyai dampak terhadap kualitas hasil *printing*.

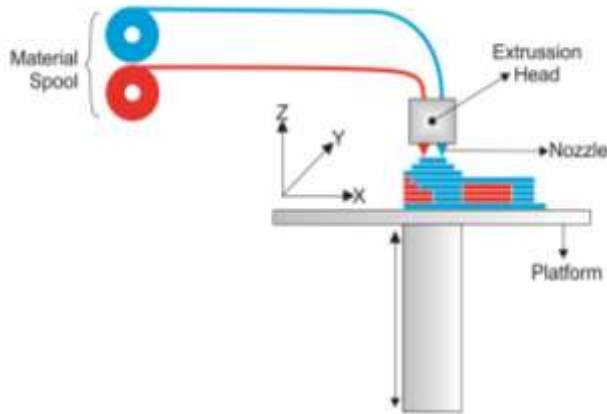
Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari dan menganalisis besarnya getaran yang dihasilkan selama proses *printing* berlangsung. Hal tersebut dikaitkan dengan dampak yang terjadi terhadap kualitas hasil *printing*, khususnya tingkat kekasaran permukaan (*surface roughness*). Dengan adanya monitoring selama proses *printing*, hal ini diharapkan dapat memprediksi tingkat kualitas hasil *printing* secara lebih dini.

## FUSED DEPOSITION MODELING (FDM)

Berdasarkan standar klasifikasi teknik atau proses *Additive Manufacturing* yang diterbitkan oleh *ASTM*, *Fused Deposition Modeling (FDM)* termasuk ke dalam kategori *Material Extrusion* [6]. Material yang digunakan berupa *filament* (berbahan polimer – termoplastik ataupun logam). *Filament* tersebut dilelehkan dengan cara dipanasi, lalu dikeluarkan secara paksa melalui *extruder* dengan diameter yang lebih kecil. Selanjutnya, *filament* tersebut dibentuk dan diendapkan selapis demi selapis di atas *platform* atau meja kerja mesin *3D Printing* [7].

Dibandingkan dengan lainnya, *FDM* mempunyai beberapa keuntungan, antara lain [4]:

1. Cocok untuk pembuatan *prototype* dalam pengembangan produk.
2. *Minimum wastage*.
3. Mudah dalam *finishing* (pembersihan bagian *support*).
4. Pengoperasian mesin relatif mudah dan sederhana.



Gambar 1. Ilustrasi Proses FDM

### MATERIAL FILAMENT

Material yang digunakan pada setiap kategori teknologi *Additive Manufacturing* adalah berbeda-beda. Tujuan dari pembuatannya pun akan mempengaruhi pemilihan material yang digunakan. Misalnya, pembuatan gigi palsu di bidang medis tentunya menggunakan material yang berbeda dengan pembuatan maket bangunan pada bidang arsitektur. Sedangkan material yang digunakan pada penelitian ini berupa *filament* yang berbahan dasar polimer-termoplastik. Hal ini terkait dengan teknik *Fused Deposition Modeling (FDM)* yang termasuk ke dalam kategori *Material Extrusion* [6].

Ada beberapa jenis material *filament* yang biasa digunakan, antara lain: *Polylactic Acid (PLA)*, *Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS)*, *High-Impact Polystyrene (HIPS)*, *Thermoplastic Polyurethane (TPU)*, *Aliphatic Polyamides (nylon)*, dll. Material *filament* yang digunakan di dalam penelitian ini adalah *Polylactic Acid (PLA)*.



Gambar 2. Polylactic Acid (PLA)

Tabel 1. Spesifikasi Polylactic Acid (PLA)

Diameter	1,75 mm
Optimum Temperature	190° – 220° C
Melting Temperature	160° C
Maximum Print Bed Temperature	60° C
Tensile Stress	38,08 Mpa
Modulus	2852 Mpa

### SENSOR AKSELEROMETER MMA7361

Penelitian ini menggunakan modul sensor akselerometer seri MMA7361. Ini merupakan sebuah modul sensor produk dari DFRobot-Freescale. Fungsi umum sensor ini adalah untuk mengukur percepatan dan getaran. Sensor ini juga memiliki tombol dip untuk memilih sensitivitas yang diinginkan yaitu antara 1,5g atau 6g.



Gambar 3. Sensor Akselerometer MMA7361

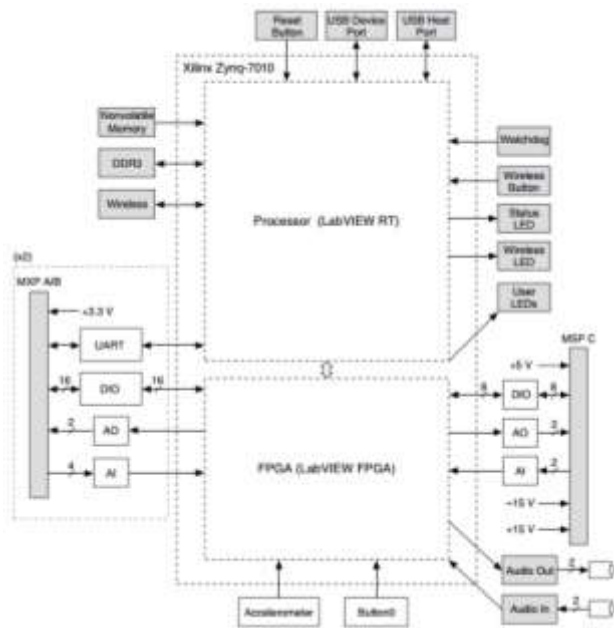
Spesifikasi sensor akselerometer MMA7361:

- Voltage : 3,3 – 8V
- Selectable sensitivity :  $\pm 1,5g$  dan  $\pm 6g$
- High sensitivity : 800 mV/g @1.5g
- Low Current Consumption : 500 $\mu$ A
- Low pass filter, high shocks survivability
- Size : 23 $\times$ 26mm
- Weight :  $\pm 15$ gram

### NI myRIO-1900

NI myRIO-1900 adalah sebuah perangkat *input-output* yang dapat dikonfigurasi ulang atau *Reconfigurable Input-Output (RIO)* untuk merancang sebuah sistem kontrol, robotika, maupun bidang mekatronik lainnya [8]. Ini merupakan perangkat keras produk dari *National Instruments*. Fungsi perangkat keras ini dapat dimanipulasi oleh pengguna (*user*) untuk membuat berbagai sistem. Hal tersebut merupakan salah satu kemudahan pada penggunaan *board* myRIO-1900. Adanya kemudahan tersebut dikarenakan *board* ini mempunyai beberapa *peripheral* yang dapat digunakan, antara lain *bluetooth*, *wifi*, *LED*, *accelerometer*, *push buton*, *analog input*, dan *output*.

*Board* myRIO-1900 juga dapat dihubungkan dengan *IC (Integrated Circuit)* dan ke *board* lain yang diperlukan dalam membuat sebuah sistem. Oleh karena itulah, *board* ini sangat memungkinkan jika digunakan untuk membuat sistem yang cukup kompleks.



Gambar 4. Blok Diagram dari NI myRIO-1900 [8]

Berikut ini adalah spesifikasi *processor* dan *memory* dari *board* myRIO-1900 untuk kisaran suhu 0° s.d. 40° C.

Tabel 2. Spesifikasi *Board* myRIO-1900 [8]

Processor	
Tipe Processor	Xilinx Z-7010
Kecepatan Processor	667 MHz
Inti Processor	2
Memory	
Nonvolatile Memory	256 MB
DDR3 Memory	512 MB
DDR3 Clock Frequency	533 MHz
DDR3 Data Bus Width	16 bits

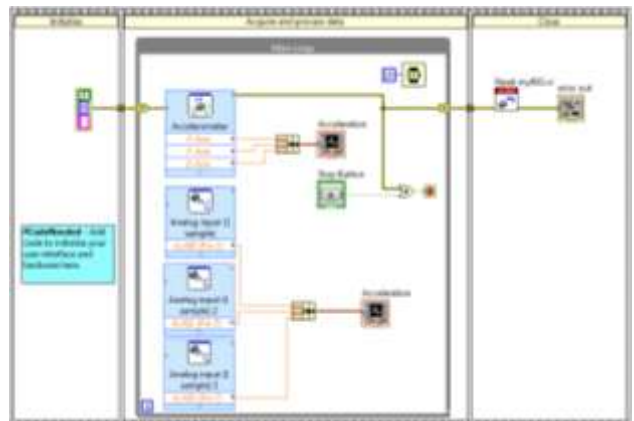


Gambar 5. NI myRIO

## NI LabVIEW

NI LabVIEW adalah suatu perangkat lunak yang merupakan produk dari *National Instruments*. LabVIEW merupakan singkatan dari *Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench*. LabVIEW ini sering difungsikan sebagai perangkat lunak untuk pemrosesan dan visualisasi data khususnya dalam bidang akuisisi data, kendali instrumentasi, dan otomasi industri. LabVIEW ini juga digunakan sebagai *IDE (Integrated Development Environment)* untuk NI myRIO.

LabVIEW menggunakan sistem pemrograman yang cukup berbeda. Pemrograman di dalamnya tidak menggunakan teks untuk membangun sebuah fungsi. Namun, pemrograman LabVIEW menggunakan gambar atau grafis sebagai suatu fungsi. Hal ini sering disebut dengan *Graphical Programming Language* atau *Visual Programming Language*. Selain itu, pemrograman pada LabVIEW juga sering disebut dengan *Virtual Instrument (VI)*. Hal tersebut dikarenakan tampilan dan operasi pada LabVIEW ini mirip dengan beberapa peralatan atau *instrument* elektronika seperti osiloskop dan juga multimeter.



Gambar 6. Blok Diagram sebagai *Source Code Program*

## PROFILOMETER

Profilometer merupakan alat yang digunakan dalam penelitian ini untuk mengukur kekasaran permukaan (*Surface Roughness*). Jenis profilometer yang digunakan adalah SurfTest SJ-210 produk dari Mitutoyo dengan spesifikasi seperti pada Tabel 3.



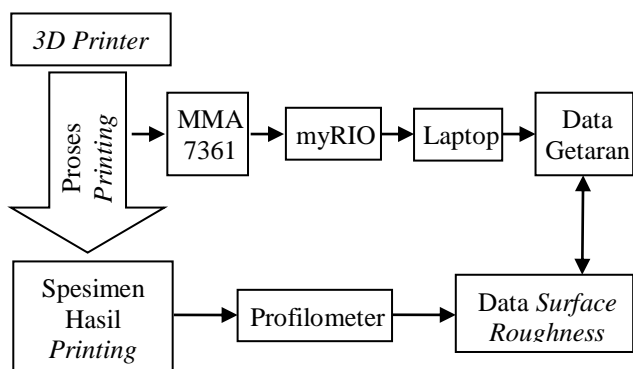
Gambar 7. Profilometer

Tabel 3. Spesifikasi Profilometer [9]

Measuring range	X axis		17.5 mm	5.6 mm
	Z axis (Detector)	Range	360 $\mu$ m (-200 $\mu$ m to +160 $\mu$ m)	
		Range/Resolution	360 $\mu$ m / 0.02 $\mu$ m, 100 $\mu$ m/0.006 $\mu$ m, 25 $\mu$ m/0.002 $\mu$ m	
Measuring speed			Measuring: 0.25mm/s, 0.5mm/s, 0.75mm/s	Returning: 1 mm/s
Measuring force/Stylus tip			0.75mN type: 0.75mN/2 $\mu$ mR 60°, 4mN type: 4mN/5 $\mu$ mR 90°	
Skid force			Less than 400mN	
Applicable standards			JIS '82 / JIS '94 / JIS '01 / ISO '97 / ANSI / VDA	
Assessed profiles			Primary profile / Roughness profile / DF profile / Roughness profile-Motif	
Evaluation parameters			Ra, Rc, Ry, Rz, Rq, Rt, Rmax, Rp, Rv, R3z, Rsk, Rku, Rc, R <sub>Pc</sub> , R <sub>sm</sub> , Rz1max, S, HSC, RzJIS, R <sub>ppi</sub> , R $\Delta$ a, R $\Delta$ q, R <sub>lr</sub> , R <sub>mr</sub> , R <sub>mr</sub> ©, R $\delta$ c, R <sub>k</sub> , R <sub>pk</sub> , R <sub>vk</sub> , Mr1, Mr2, A1, A2, Vo, R <sub>pm</sub> , tp, H <sub>tp</sub> , R, Rx, AR, Possible Customize	
Analysis graph			Bearing area curve / Amplitude distribution curve	
Filters			Gaussian, 2CR75, PC75	
Cut off length	$\lambda_c$		0.08 , 0.25 , 0.8 , 2.5mm	
	$\lambda_s$		2.5 , 8 $\mu$ m	
Sampling length			0.08 , 0.25 , 0.8 , 2.5mm	
Number of Sampling length (Xn)			X1, X2, X3, X4, X5, X6, X7, X8, X9, X10, arbitrary length (0.3 to 16.0mm: 0.01mm interval)	X1, X2, X3, X4, X5, X6, X7, X8, X9, X10, arbitrary length (0.3 to 16.0mm: 0.01mm interval)
LCD dimensions			36.7 x 48.9 mm	
Display languages			Japanese, English, German, French, Italian, Spanish, Portuguese, Korean, Traditional Chinese, Simplified Chinese, Czech, Polish, Hungarian Turkish, Swedish, Dutch	
Printing function *1 (Dedicated printer is required separately)			Measurement conditions / Calculating results / Calculating results for each sampling length / Assessed profile / Bearing area curve, Amplitude distribution curve / Environment setting information	

### SET-UP PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan dengan *set-up* sebagai berikut:



Gambar 8. Set-up Penelitian

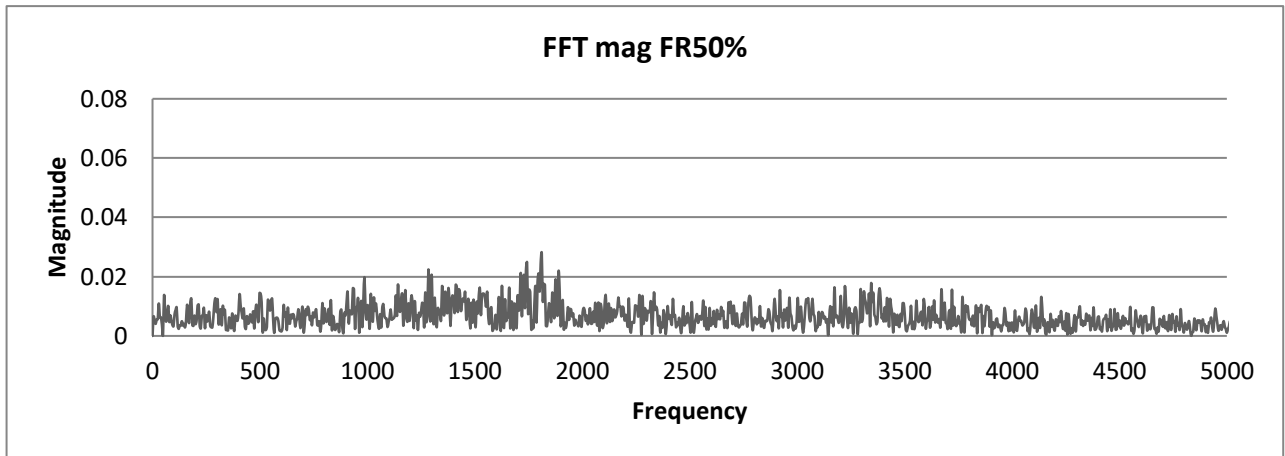
Pada saat mesin *3D Printer* sedang melakukan proses *printing*, sensor akselerometer MMA7361 dipasang di kerangka mesin. Untuk mengolah dan memvisualisasikan data hasil pengukuran getaran dari sensor tersebut, terdapat NI myRIO dan aplikasi analisis data (NI LabVIEW) yang sudah terinstal di laptop.

### HASIL PENGUKURAN

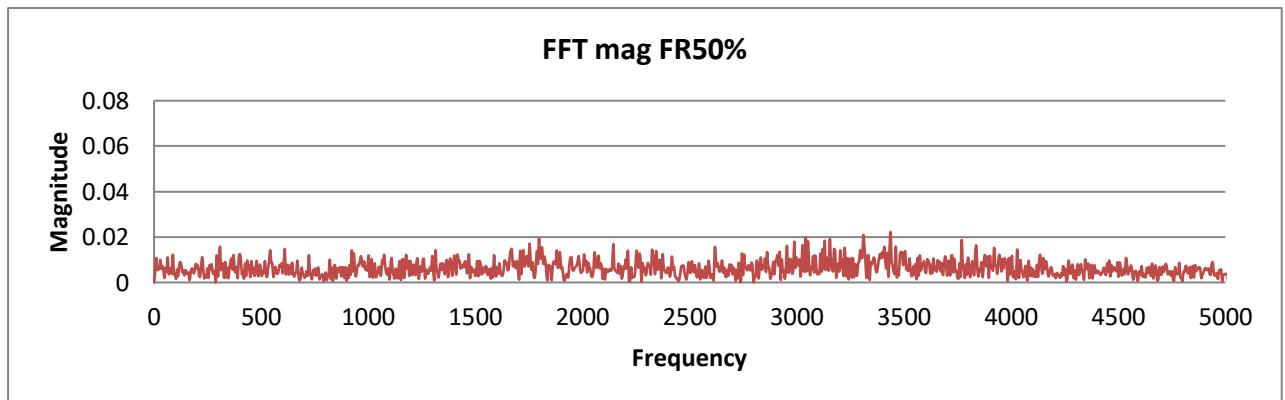
Proses pengukuran getaran dilakukan dengan beberapa parameter sebagai berikut:

- Diameter *Filament* – 1,75 mm,
- Ukuran *Nozzle* – 0,4 mm,
- *Layer Height* – 0,2 mm,
- Material – PLA,
- *Printing Temperature* – 190°C,
- *Bed Temperature* – 60°C,
- *Based Print Speed* – 60 mm/s.

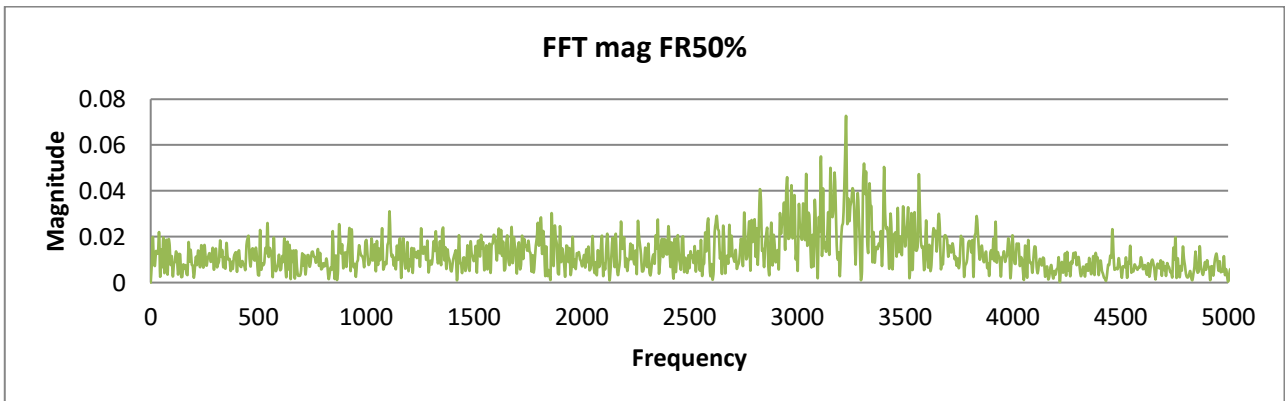
Proses pengukuran getaran dilakukan beberapa kali dengan memvariasikan kecepatan *printing* yaitu 50%, 100%, hingga 200%. Hasil sinyal yang didapatkan masih dalam domain waktu sehingga perlu diolah menggunakan Transformasi Fourier. Pada penelitian kali ini, Transformasi Fourier yang digunakan adalah *Fast Fourier Transform (FFT)* dengan bantuan menu *Data Analysis* pada aplikasi Microsoft Excel. Berikut merupakan hasil pengukuran yang sudah diolah dalam bentuk grafik.



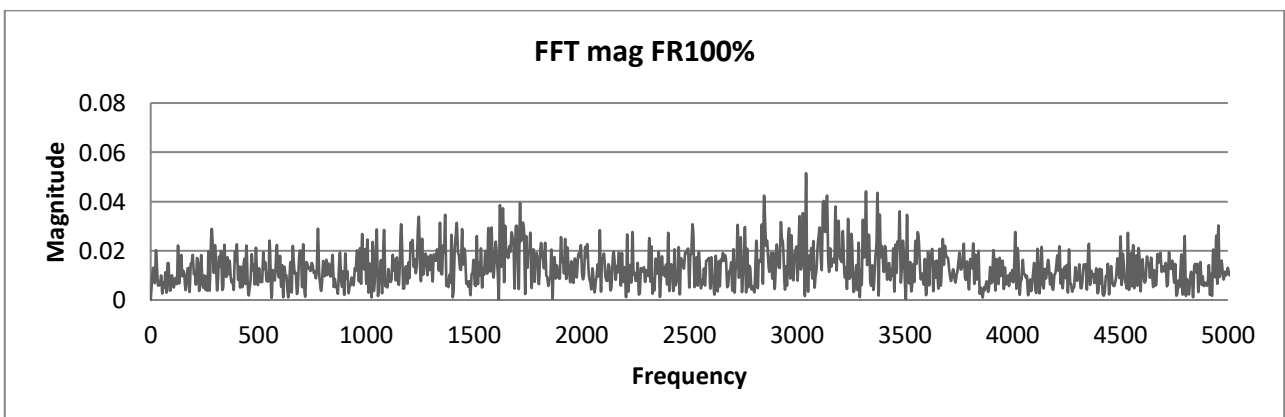
Gambar 8. Grafik Hasil Pengukuran Getaran ke Arah Sumbu Z pada Kecepatan 50%



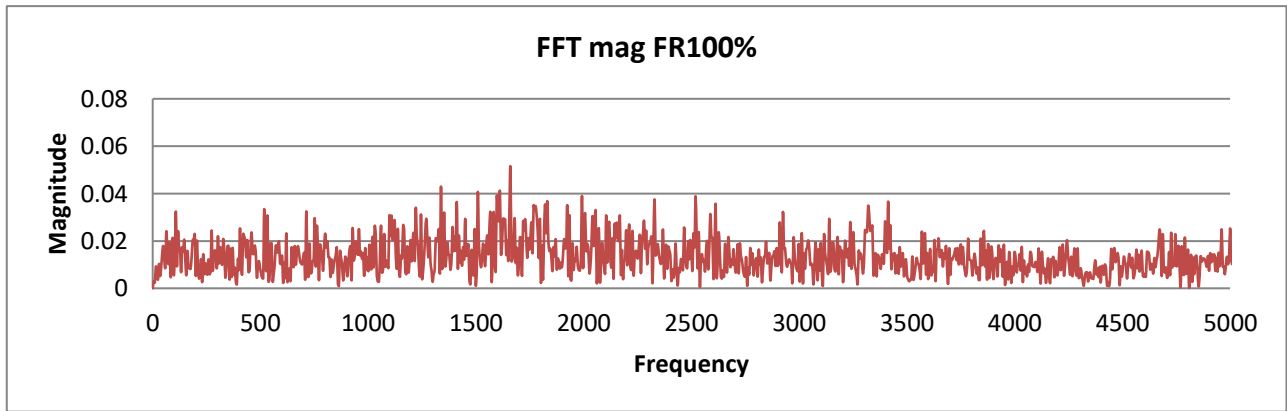
Gambar 9. Grafik Hasil Pengukuran Getaran ke Arah Sumbu Y pada Kecepatan 50%



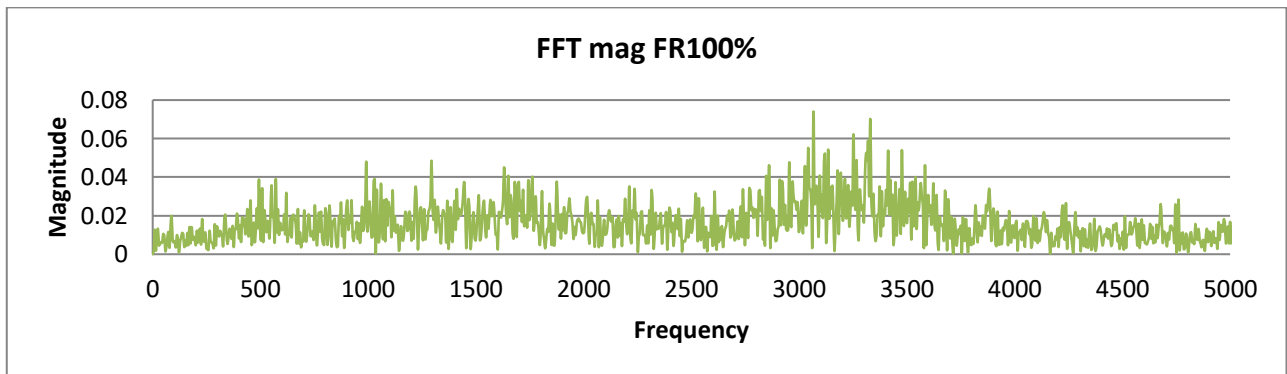
Gambar 10. Grafik Hasil Pengukuran Getaran ke Arah Sumbu X pada Kecepatan 50%



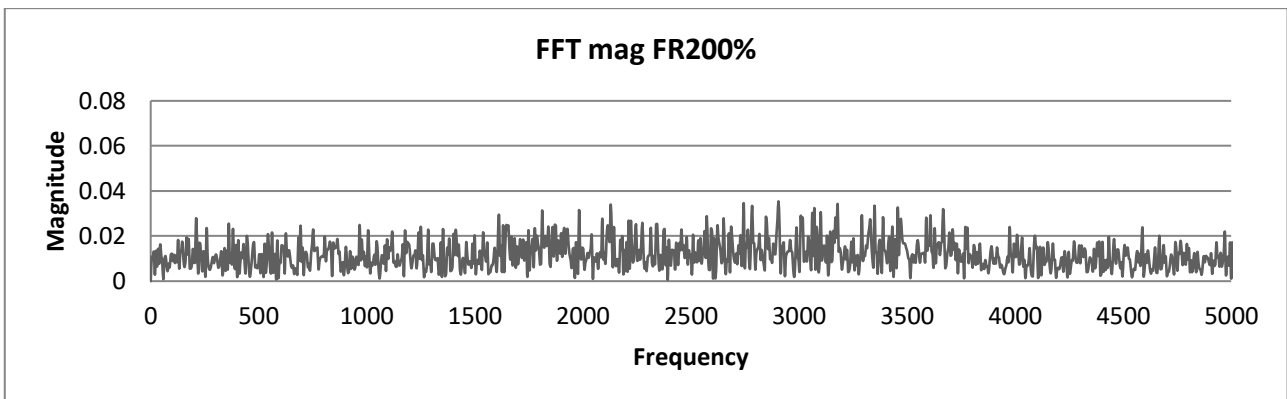
Gambar 11. Grafik Hasil Pengukuran Getaran ke Arah Sumbu Z pada Kecepatan 100%



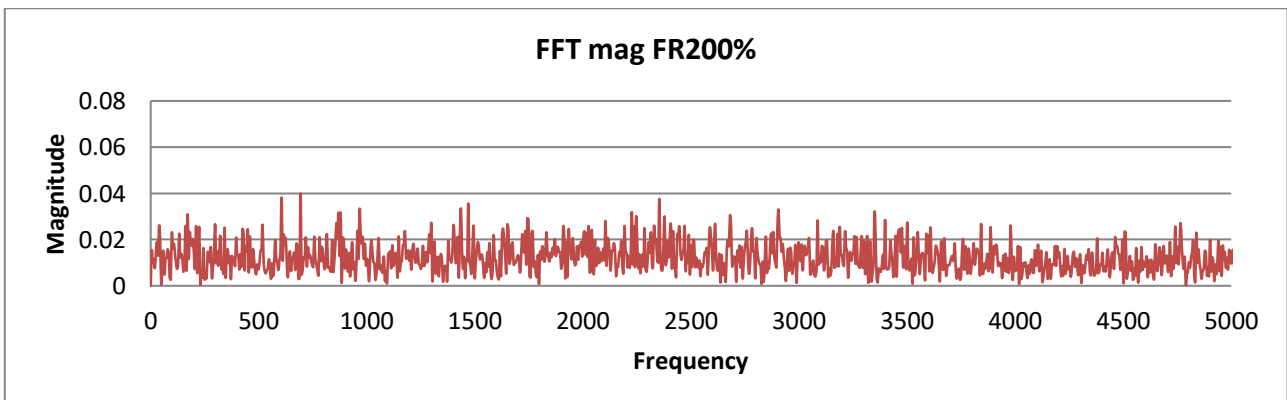
Gambar 12. Grafik Hasil Pengukuran Getaran ke Arah Sumbu Y pada Kecepatan 100%



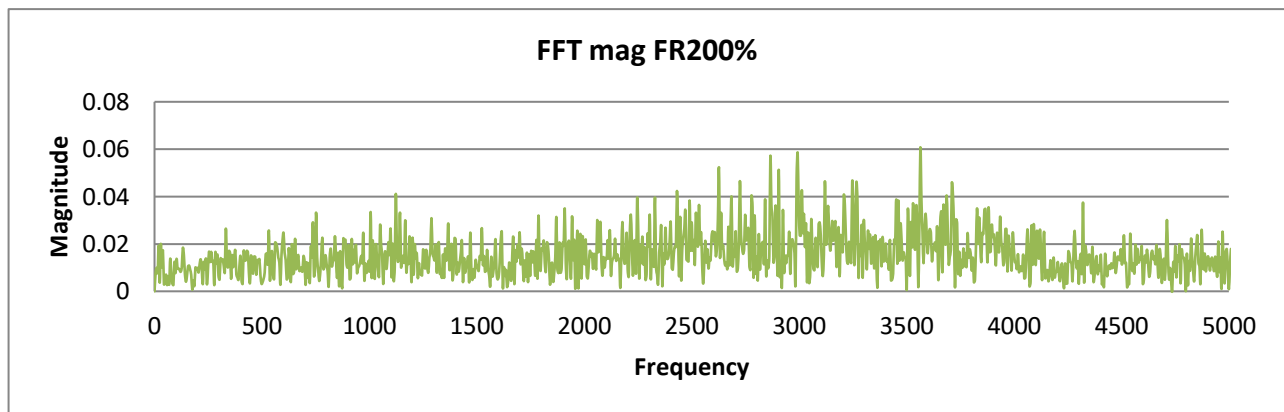
Gambar 13. Grafik Hasil Pengukuran Getaran ke Arah Sumbu X pada Kecepatan 100%



Gambar 14. Grafik Hasil Pengukuran Getaran ke Arah Sumbu Z pada Kecepatan 200%



Gambar 15. Grafik Hasil Pengukuran Getaran ke Arah Sumbu Y pada Kecepatan 200%



Gambar 15. Grafik Hasil Pengukuran Getaran ke Arah Sumbu X pada Kecepatan 200%

Berdasarkan hasil pembacaan grafik di atas, dapat dilihat bahwa peningkatan kecepatan dari 50%, 100%, sampai 200% tidak akan berpengaruh secara signifikan terhadap getaran yang dihasilkan. Namun, perubahan tersebut tetap ada. Perubahan getaran yang cukup besar hanya terlihat ke arah sumbu X pada mesin *3D Printer*. Berikut Tabel ringkasan berdasarkan grafik di atas.

Tabel 4. Rata-rata *Magnitude*

Sumbu	Spesimen 01FR50%	Spesimen 01FR100%	Spesimen 01FR200%
X	0.01287	0.01599	0.01524
Y	0.00635	0.01329	0.01232
Z	0.00666	0.01313	0.01185

Dari grafik di atas juga dapat terlihat bahwa *Maximal Magnitude* terjadi pada grafik untuk sumbu X. Secara lengkap disajikan dengan tabel berikut ini.

Tabel 5. *Maximal Magnitude (Peak)*

Sumbu	Spesimen 01FR50%	Spesimen 01FR100%	Spesimen 01FR200%
X	0.07180	0.07403	0.06079
Y	0.02221	0.05105	0.03992
Z	0.02779	0.05149	0.03539

Sementara itu, hasil pengukuran *Surface Roughness* pada masing-masing spesimen dengan perlakuan kecepatan *printing* yang berbeda juga tidak begitu mempengaruhi tingkat kekasaran permukaan secara signifikan. Tingkat kekasaran yang diukur meliputi empat sisi spesimen dengan estimasi proses *printing* di sekitar dimensi yang sama. Untuk spesimen pertama, yaitu spesimen dengan kecepatan *printing* 50% mempunyai tingkat kekasaran permukaan rata-rata sebesar  $\bar{R}_a = 8.6485 \mu\text{m}$ . Spesimen dengan kecepatan *printing* 100% mempunyai tingkat kekasaran permukaan rata-rata sebesar  $\bar{R}_a = 8.2893 \mu\text{m}$ . Spesimen dengan kecepatan *printing* 200% mempunyai tingkat kekasaran permukaan rata-rata sebesar  $\bar{R}_a = 7.864 \mu\text{m}$ .

Tabel 6. Hasil Pengukuran *Surface Roughness*

Spesimen 01FR50%		
Sisi A	Ra = 9.526 $\mu\text{m}$	$\bar{R}_a = 8.6485 \mu\text{m}$
Sisi B	Ra = 8.777 $\mu\text{m}$	
Sisi C	Ra = 8.330 $\mu\text{m}$	
Sisi D	Ra = 7.961 $\mu\text{m}$	
Spesimen 10FR100%		
Sisi A	Ra = 8.498 $\mu\text{m}$	$\bar{R}_a = 8.2893 \mu\text{m}$
Sisi B	Ra = 8.758 $\mu\text{m}$	
Sisi C	Ra = 7.913 $\mu\text{m}$	
Sisi D	Ra = 7.988 $\mu\text{m}$	
Spesimen 09FR200%		
Sisi A	Ra = 7.867 $\mu\text{m}$	$\bar{R}_a = 7.864 \mu\text{m}$
Sisi B	Ra = 7.667 $\mu\text{m}$	
Sisi C	Ra = 8.450 $\mu\text{m}$	
Sisi D	Ra = 7.472 $\mu\text{m}$	

## PENUTUP

### Kesimpulan

Dari hasil penelitian tentang pengukuran getaran pada mesin *3D Printer* dan juga pengukuran tingkat kekasaran permukaan pada hasil *printing*, ternyata tidak terlihat adanya pengaruh yang cukup signifikan.

### Saran

Pada penelitian selanjutnya, disarankan untuk memperbanyak jumlah spesimen yang diteliti dengan berbagai variasi kondisi baik dari kecepatan, material, maupun parameter lainnya.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. Kulkarni, A. Marsan, and D. Dutta, "A review of process planning techniques in layered manufacturing," *Rapid Prototyping Journal*, vol. 6, no. 1, pp. 18–35, 2000
- [2] *ISO/ASTM International, 2016, International Standard ISO/ASTM 52900 Additive Manufacturing – General Principles – Terminology.*



- [3] F. Calignano *et al.*, “Overview on Additive Manufacturing Technologies,” Proceedings of the IEEE, Vol. 105, No. 4, April 2017.
- [4] Chua C. K., Leong, K. F., and Lim, “Rapid Prototyping: Principles and Applications,” World Scientific Pub Co Inc, 2010.
- [5] Mahindru, D.V. and Mahendru, Priyanka, “Review of Rapid Prototyping-Technology for the Future,” Global Journal of Computer Science and Technology, Volume 13 Issue 4 Version 1.0, 2013.
- [6] *ISO/ASTM International, 2013, Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies, Designation: F2792-12a.*
- [7] B. N. Turner, R. Strong, and S. A. Gold, “A review of melt extrusion additive manufacturing processes: I. Process design and modeling,” Rapid Prototyping J., vol. 20, no. 3, pp. 192–204, 2014
- [8] National Instruments, “User Guide and Specifications NI myRIO-1900,” United States: 2013.
- [9] Mitutoyo, “Portable Surface Roughness Tester; SURFTEST SJ-210 Series,” Japan, Mitutoyo Corporation: Catalog No.E4388-179.