

## Pengembangan Deposisi Vibrasi Material Serbuk pada Teknologi *Direct Laser Melting* Memakai Nosel Kuningan untuk Aplikasi 3D Printing

**Teguh Pudji Purwanto, Alva Edy Tontowi, Rachmat Sriwijaya**

Jurusan Teknik Mesin dan Teknik Industri

Fakultas Teknik, Universitas Gajah Mada Yogyakarta

email : teguh-pp@ugm.ac.id

email : sriwijaya@gajahmada.edu

### Abstrak

*Metode deposisi vibrasi dikembangkan untuk mengatasi kekurangan dari metode yang sudah berkembang. Parameter ukuran kualitas deposisi adalah laju aliran, bentuk deposisi material yaitu lebar dan kestabilan bentuk. Dari penelitian penelitian yang sudah banyak dilakukan, parameter yang mempengaruhi kualitas deposisi dengan metode deposisi vibrasi ini adalah arah getaran vertikal dan horizontal, bentuk gelombang sinusoidal kotak maupun gergaji, frekuensi, amplitude, ukuran partikel, bentuk dan ukuran nosel, jarak nosel dengan meja kerja atau tinggi jatuh. Karakteristik aliran serbuk laser toner melalui nosel dicoba untuk ukuran nosel 0,5, 0,8 dan 1,0 mm. Untuk setiap diameter nosel dicoba sifat aliran serbuk sebagai fungsi dari frekuensi, dan dilihat hasil deposisinya baik searah getaran maupun tegak lurus getaran dengan cara membuat bentuk persegi. Dicoba pada tiga frekuensi yaitu 950, 1000 dan 1050 Hz. Serbuk yang dipakai adalah serbuk laser toner yang merupakan komposit dengan komposisi 60% polyester resin dan 40% oksida besi. Ukuran partikel antara 5-15 micrometer. Bentuk partikelnya berupa butiran yang tidak teratur dengan permukaan yang kasar dan runcing (spiky). Dari hasil pengamatan, ternyata kualitas deposisi terbaik terjadi pada diameter nosel 1,0 mm dan frekuensi getaran 950 Hz. Terlihat dari rekaman dengan kamera high speed bahwa serbuk keluar nosel dalam bentuk gumpalan gumpalan. Dari hasil pencetakan 2D terlihat bahwa kecepatan meja kecuali berpengaruh terhadap efisiensi pemakaian serbuk juga berpengaruh terhadap dimensi yang dihasilkan. Pada penelitian ini diprogram untuk membuat satu lapis dinding setinggi 10 mm. Pada kecepatan meja 4,2 dan 5,5 mm/s, tinggi yang diinginkan dapat tercapai, tetapi pada kecepatan 8 mm/s tingginya tidak dapat tercapai. Hal ini karena pada kecepatan yang tinggi sinar laser yang hanya berdaya 2,5 Watt hanya mampu melelehkan sebagian kecil serbuk yang tertumpuk. Hal ini diperkuat dengan turunnya efisiensi pada kecepatan 8 mm/s.*

*Kata kunci: 3D Printing, Direct Laser Melting, Deposisi Vibrasi, Laser Toner, Dioda Laser*

### 1. Pendahuluan

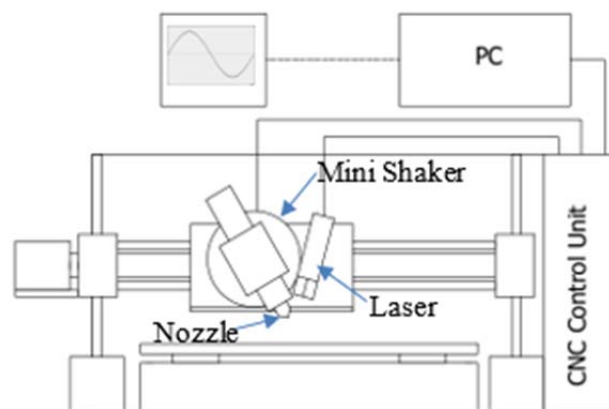
Teknologi 3D printing semakin berkembang, baik memakai bahan baku berbentuk filament, cair maupun serbuk. Untuk yang memakai bahan baku serbuk dikembangkan teknologi powder bed dan directed energy deposition. Teknologi Directed Energy Deposition atau Laser Beam Melting merupakan proses yang paling populer pada teknologi AM untuk material metal. Teknologi ini dikembangkan oleh Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, New Mexico, dikenal dengan nama Directed Light Fabrication dan yang dikembangkan oleh Sandia National Laboratory, Albuquerque, New Mexico yang dikenal dengan teknologi Laser Engineered Net Shaping TM (LENS®). Teknologi LENS® memakai laser berdaya besar sebagai sumber panas untuk melelehkan material serbuk yang disemprotkan dengan memakai gas pembawa (carrier gas). Material yang telah meleleh kemudian didepositkan lapis demi lapis dipandu oleh CAD dan CAM membentuk benda yang diinginkan. Kedua proses memakai bahan baku serbuk yang disuplai secara kontinyu dengan memakai gas pembawa ke daerah focus sinar laser sehingga material akan meleleh dan kemudian membeku kembali pada saat sinar laser meninggalkannya. Suplai serbuk dengan memakai bantuan gas pembawa mempunyai kelemahan yaitu efisiensi pemakaian serbuk relative rendah [9], dan terjadinya porositas [4,5,6,7,14].

Beberapa peneliti telah mengembangkan metode deposisi material serbuk dengan bantuan getaran, baik pada dengan frekuensi sonic [1,2,8,9,10,13,16,17,18] maupun ultrasonic [11,15]. Metode deposisi vibrasi dikembangkan untuk mengatasi kekurangan dari metode yang sudah berkembang. Parameter ukuran kualitas deposisi adalah laju aliran, bentuk deposisi material yaitu lebar dan kestabilan bentuk. Dari penelitian penelitian yang sudah banyak dilakukan, parameter yang mempengaruhi metode deposisi vibrasi ini adalah arah getaran vertikal dan horizontal, bentuk gelombang sinusoidal kotak maupun gergaji, frekuensi, amplitude, ukuran partikel, bentuk dan ukuran nosel, jarak nosel dengan meja kerja atau tinggi jatuh.

Penyiapan lapisan serbuk untuk keperluan direct laser melting dengan bantuan vibrasi diteliti cukup komprehensif oleh Stichel et. al. [12,13], dengan memakai nosel yang terbuat dari baja dan digetarkan kearah longitudinal. Material serbuk yang dipakai pada penelitiannya adalah polyamide 12. Pada waktu melalui lubang nosel, material serbuk akan membentuk struktur melengkung didekat ujung nosel yang akan menyebabkan tidak terjadi aliran secara alamiah. Jika nosel digetarkan maka serbuk akan mulai dapat mengalir. Ada 2 parameter yang mempengaruhi fenomena ini, yaitu pemadatan dan dilatasi. Dilatasi akan mengakibatkan gaya gesek antar partikel akan berkurang sehingga serbuk akan lebih mudah mengalir, tetapi pemadatan akan menaikkan gesekan antar partikel dan menghambat laju aliran serbuk. Pengaruh mana yang dominan ditentukan oleh sifat serbuk dan nosel, dan juga pola getar. Dari penelitiannya diperoleh bahwa pada frekuensi 450 Hz dan amplitude tegangan sebesar 30 V merupakan kondisi yang paling baik untuk proses deposisi dalam kaitannya dengan penyiapan lapisan serbuk.

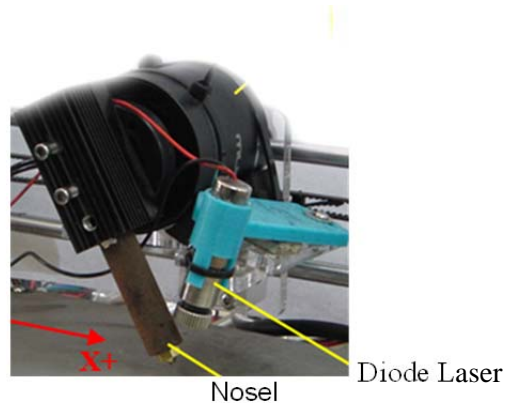
## 2. Metodologi

Skema susunan penelitian yang dipakai dapat dilihat pada Gambar 1. Nosel kuningan dengan diameter lubang 0,5, 0,8 dan 1,0 mm ditempelkan pada mini shaker dengan memakai pemegang. Mini shaker yang dipakai adalah speaker getar merek Mugen. Laser yang dipakai adalah laser diode dengan daya 2,5 Watt.



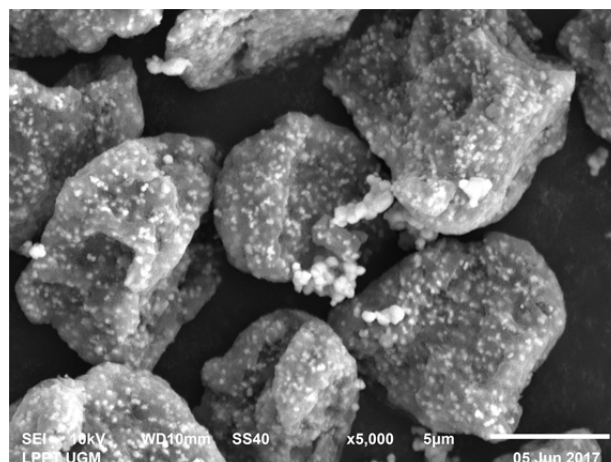
Gambar 1 Skema susunan alat penelitian

Foto posisi pemasangan nosel pada speaker getar dapat dilihat pada Gambar 2.



**Gambar 2** Posisi instalasi pemegang nosel pada speaker getar

Serbuk yang dipakai adalah serbuk laser toner yang merupakan komposit dengan komposisi 60% polyester resin dan 40% oksida besi. Ukuran partikel antara 5-15 micrometer. Bentuk partikelnya berupa butiran yang tidak teratur dengan permukaan yang kasar dan runcing (spiky). Photo serbuk dengan memakai SEM dapat dilihat pada Gambar 3.



**Gambar 3** Photo SEM serbuk laser toner

Dengan ukuran partikel yang sangat kecil dan bentuk yang tidak teratur, maka serbuk ini mempunyai sifat sangat sulit mengalir, hal ini dibuktikan dengan pengukuran sudut repose yang sebesar  $60^\circ$ . Serbuk dimasukkan ke dalam nosel, kemudian nosel digetarkan oleh mini shaker dengan sinyal sinusoidal yang frekuensinya dapat divariasikan.

### 3. Hasil dan Pembahasan

Pertama diuji terlebih dahulu sifat mampu alir dari serbuk yang dipakai sebagai bahan penelitian. Sifat mampu alir ini ditunjukkan dengan pengukuran sudut repose. Ternyata sudut repose yang terukur adalah  $60^\circ$ . Dengan sudut repose sebesar itu, dari referensi menunjukkan serbuk laser toner ini sangat sulit untuk mengalir.

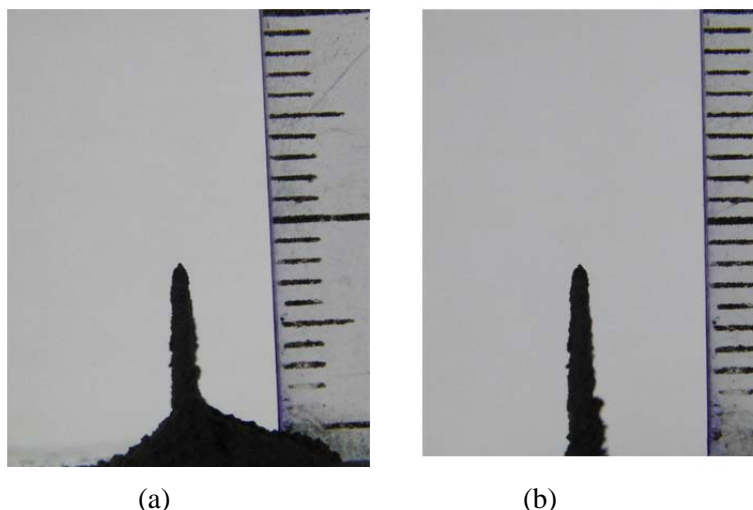
Karakteristik aliran serbuk laser toner melalui nosel dicoba untuk ukuran nosel 0,5, 0,8 dan 1,0 mm. Untuk setiap diameter nosel dicoba sifat aliran serbuk sebagai fungsi dari frekuensi. Ternyata frekuensi yang berpengaruh terhadap aliran serbuk adalah disekitar 1000 Hz. Dicoba pada tiga frekuensi yaitu 950, 1000 dan 1050 Hz, dan dilihat hasil deposisinya baik searah getaran maupun tegak lurus getaran dengan cara membuat bentuk persegi seperti terlihat pada Gambar 4b. Dari hasil

pengamatan, ternyata kualitas deposisi terbaik terjadi pada diameter nosel 1,0 mm dan frekuensi getaran 950 Hz. Gambar 4a menunjukkan bentuk aliran serbuk keluar nosel yang direkan dengan memakai kamera high speed 1000 fps. Terlihat dari rekaman tersebut bahwa serbuk keluar nosel dalam bentuk gumpalan gumpalan. Hal ini karena material serbuk akan membentuk struktur melengkung didekat ujung nosel yang akan menyebabkan tidak terjadi aliran secara alamiah. Jika nosel digetarkan maka serbuk akan mulai menggumpal dan menjadi cukup berat sehingga gaya berat ini mampu mengatasi besarnya pematatan dan dilatasi sehingga dapat mengalir.



**Gambar 4** (a) Aliran serbuk keluar nosel, dan (b) bentuk deposisi

Dicoba juga untuk mengukur efisiensi pemakaian serbuk pada saat membentuk suatu bentuk 2D, yaitu sebuah dinding tipis dengan tinggi sekitar 1 cm dan kecepatan meja 4,2, 5,5 dan 8 mm/s. Setelah terbentuk dinding, serbuk yang tidak meleleh dibersihkan. Perbandingan luasan kondisi bersih dibandingkan dengan luasan kondisi kotor dipakai untuk menghitung efisiensi. Efisiensi yang diperoleh adalah 0,5, 0,42 dan 0,45. Jadi semakin cepat kecepatan meja akan semakin rendah efisiensinya, atau serbuk yang meleleh menjadi semakin sedikit. Gambar 5a menunjukkan kondisi lelehan masih kotor, sedangkan Gambar 5b menunjukkan kondisi hasil lelehan setelah dibersihkan.





**Gambar 5** (a) Hasil pencetakan kondisi kotor, (b) kondisi bersih


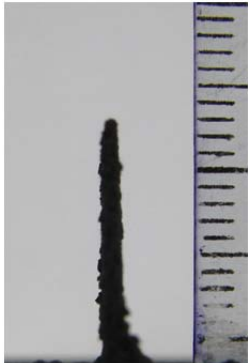
Efisiensi yang masih relatif rendah ini kemungkinan karena daya laser yang dipakai masih kurang besar, sehingga tidak mampu melelehkan semua serbuk yang ditembak laser. Terbukti dengan semakin cepat gerakan meja kerja maka semakin sedikit serbuk yang dapat dilelehkan oleh sinar laser sehingga efisiensinya menjadi turun.

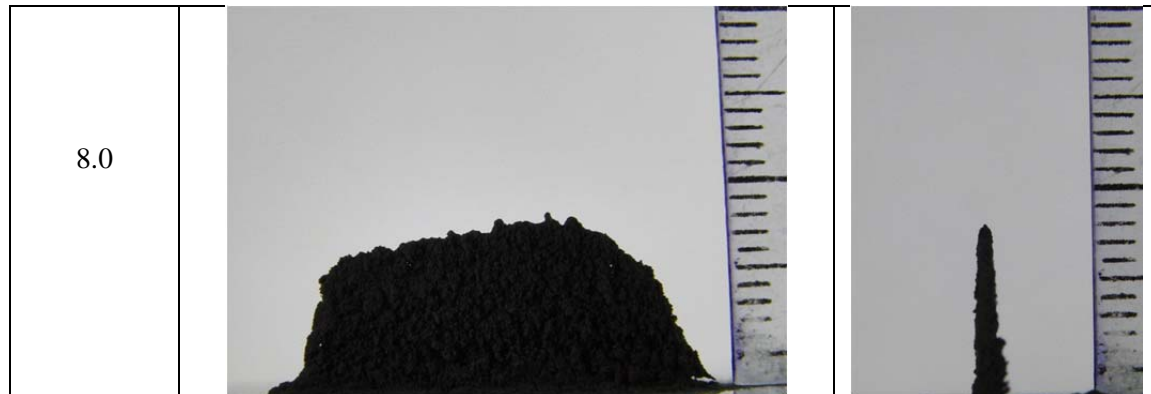
Hasil pencetakan 2D yaitu membuat dinding tipis setinggi 10 mm dengan memakai diameter nosel 1,0 mm dan frekuensi 950 Hz dengan 3 buah variasi kecepatan meja dapat dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1** Hasil pencetakan 2D serbuk laser toner dengan memakai nosel 1,0 mm dan daya laser 2,5 Watt

Kecepatan Meja (mm/s)	Hasil 2D	
	Tampak Depan	Tampak Samping
4.2		

**Tabel 1** Hasil pencetakan 2D serbuk laser toner dengan memakai nosel 1,0 mm dan daya laser 2,5 Watt (Lanjutan)

5.5		
-----	---	---



Dari hasil pencetakan 2D terlihat bahwa kecepatan meja kecuali berpengaruh terhadap efisiensi pemakaian serbuk juga berpengaruh terhadap dimensi yang dihasilkan. Pada penelitian ini diprogram untuk membuat satu lapis dinding setinggi 10 mm. Pada kecepatan meja 4,2 dan 5,5 mm/s, tinggi yang diinginkan dapat tercapai, tetapi pada kecepatan 8 mm/s tingginya tidak dapat tercapai. Hal ini karena pada kecepatan yang tinggi sinar laser yang hanya berdaya 2,5Watt hanya mampu melelehkan sebagian kecil serbuk yang tertumpuk. Hal ini diperkuat dengan turunnya efisiensi pada kecepatan 8 mm/s.

Permukaan hasil pencetakan terlihat tidak halus, hal ini karena serbuk laser toner yang dipakai sebagai media penelitian adalah merupakan bahan komposit polyester resin yang mempunyai suhu leleh rendah dan bahan karbida besi yang mempunyai suhu leleh tinggi. Karena sinar laser yang ditembakkan mempunyai daya yang rendah, maka hanya mampu melelehkan bahan polyester resin. Sedangkan karbida besi tidak meleleh, hal ini yang menyebabkan permukaan hasil lelehan menjadi kasar.

#### 4. Kesimpulan dan Saran

Telah dapat dibuat perangkat 3D printer dengan memakai bahan baku berupa serbuk dan metode deposisi vibrasi. Hasil pencetakan dipengaruhi oleh sifat fisika bahan serbuk yang dipakai dan besarnya daya laser. Efisiensi pemakaian serbuk dipengaruhi oleh kecepatan relative antara posisi laser terhadap meja kerja. Efisiensi pemakaian serbuk berbanding terbalik dengan kecepatan meja kerja. Kesempurnaan bentuk yang dicetak juga dipengaruhi oleh kecepatan relatif ini.

Sebagai saran untuk perbaikan dan penyempurnaan metode ini, perlu dicoba untuk berbagai macam jenis serbuk dan juga besarnya daya laser.

#### Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada Departemen Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik UGM yang telah mendanai penelitian ini, dan juga kepada Romario Muhammad Amri yang telah membantu pelaksanaan penelitian ini.

#### Daftar Pustaka

- [1] Chen Xueyong [et al.], 2013, The Analysis for The Influence of Vibration Paramaters on Laser Metal Deposition Process, International Journal of Digital Content Technology and its Application Vol. 7.
- [2] Chianrabutra, S., Mellor, B.G., Yang, S., 2014, A Dry Powder Material Delivery Device for Multiple Material Additive Manufacturing, Proc. Solid Freeform Fabrication Symposium P. 36-48.

- [3] Jurgen, T., 2004, Fundamentals of cohesive powder consolidation and flow, Granular Matter, Springer-Verlag, Vol. 6, P. 75-86.
- [4] Khademzadeh, S., Carmignato, S., Parvin, N., Zanini, F., Bariani, P.F., 2016, Micro porosity analysis in additive manufactured NiTi parts using micro computed tomography and electron microscopy, Materials and Design 90 P. 745-752.
- [5] Kumar, P., Beck, E., Dash, S., 2003, Preliminary Investigations on The Deposition of Fine Powders Through Miniature Hopper-Nozzles Applied to Multimaterial Solid Freeform Fabrication, Solid Freeform Fabrication Proceeding P. 82-92
- [6] Lewis G.K. and Schlienger E., 2000, Practical considerations and capabilities for laser assisted direct metal deposition, Materials and Design, 21 P. 417-423.
- [7] Ludovico, A.D., Angelastro, A., and Campanelli, S.L., 2010, Experimental Analysis of the Direct Laser Metal Deposition Process, New Trends in Technologies: Devices, Computer, Communication and Industrial Systems P. 253-272
- [8] Lumay, G., Boschini, F., Traina, K., Bontepi, S., Remy, J.-C., Cloots, R., Vandewalle, N., 2012, Measuring the flowing properties of powders and grains, Powder Technology 224 P. 19-27.
- [9] Nazir K., Ahmad, F., Miran, S., Sohn, Chang Hyun, A Parametric Analysis of Direct Laser Deposition Process Using Vibration Control Feeding System, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Springer (March 2017), - 5-8: Vol. 89, P. 1669-1676.
- [10] Nazir, K., Ahmad, F., Miran, S., Sohn, C.H., 2017, A parametric analysis of direct laser deposition process using vibration control feeding system, Int J Adv Manuf Technol 89 P. 1669-1676
- [11] Purwanto, T.P., Tontowi, A.E., Sriwijaya, R., Kurniawan, F.D., 2018, Microfeeding System of Powder Material with Various Signal Vibration Using Mini Shaker, The 12th SEATUC Symposium.
- [12] Qi Lehua [et al.], Stable micro feeding of fine powders using a capillary with ultrasonic vibration, Powder Technology (2011), Vol. 214, pp. 237-242.
- [13] Stichel, T., Laumer, T., Baumuller, T., Amend, P., Roth, S., 2014, Powder layer preparation using vibration-controlled capillary steel nozzles for Additive Manufacturing, Physics Procedia 56 P. 157-166.
- [14] Stichel, T., Laumer, T., Wittman, P., Amend, P., Roth, S., 2015, Selective deposition of polymer powder by vibrating nozzles for laser beam melting, Laser in Manufacturing Conference.
- [15] Wang L [et al.], 2009, Experimental Analysis of Porosity Formation in Laser-Assisted Powder Deposition Process, Supplemental Proceedings: Volume 1: Fabrication, Materials, Processing and Properties Vol. 1, P. 389-396.
- [16] Wang, W., Li, L., 2010, High-quality high-material-usage multiple-layer laser deposition of nickel alloys using sonic or ultrasonic vibration powder feeding, Proceeding IMechE 235 Part B P. 130-139.
- [17] Wassgren C.R. [et al.], 2002, Effects of vertical vibration on hopper flows of granular material, Physics of Fluids 10: Vol. 14, P. 3439-3448.
- [18] Yang, S., Evans, J.R.G., 2005, On the rate of descent of powder in a vibrating tube, Philosophical Magazine Vol 85 No 10 1 April 2005 P. 1089-1109.
- [19] Yang, S., Evans, J.R.G., 2004, Acoustic control of powder dispensing in open tubes, Powder Technology 139 P. 55-60.