

## PENGEMBANGAN PROSES *MULTI MATERIAL DEPOSITION INDIRECT SINTERING* (MMD-Is) UNTUK SERBUK Cu

**Mohammad Nurhilal<sup>1)</sup> dan Susilo Adi Widyanto<sup>2)</sup>**

<sup>1)</sup> Jurusan Teknik Mesin Politeknik Cilacap  
Jl. Dr. Sutomo No.1 Sidakaya, Cilacap

<sup>2)</sup> Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. Sudarto, SH, Tembalang, Semarang  
e-mail: najiwaa@yahoo.com

### Abstrak

*Penelitian dan pengembangan pembuatan produk multi material masih dilakukan untuk menghasilkan produk yang optimal. MMD-Is memiliki kemampuan dalam membuat produk multi material yang tersusun dalam formasi blok, dengan metode MMD-Is berbagai karakteristik produk multi material dapat dibuat.*

*Penelitian pengembangan proses multi material indirect sintering dilakukan untuk menentukan prosedur proses MMD-Is melalui rancang bangun konstruksi built part, menentukan variasi parameter mampu alir (luas efektif lubang nosel D/d, putaran ulir pengumpan), variasi parameter deposisi (scanning gap, deposition gap, feeding speed).*

*Hasil penelitian menunjukkan bahwa rancang bangun built part dapat membuat produk dari serbuk tembaga dan besi cor. Mampu alir serbuk besi cor 100-75  $\mu\text{m}$  hampir sama dengan aliran serbuk 100-150  $\mu\text{m}$ , rasio diameter nosel dan ulir pengumpan ( $D/d = 1,6$ ) menghasilkan aliran yang optimal, semakin tinggi putaran ulir pengumpan semakin tinggi kapasitas aliran serbuk. Akurasi dimensi produk dihasilkan pada harga scanning gap = 1,5 mm, deposition gap = 1 mm, dan feeding speed = 3 mm/dtk.*

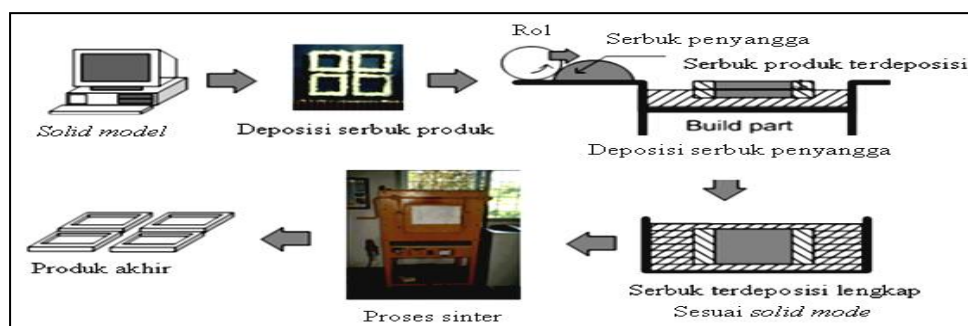
**Kata kunci:** MMD-Is, mampu alir, akurasi dimensi produk

### PENDAHULUAN

Pengembangan teknologi *multi material layer manufacturing* (MMLM) memberikan cara yang relatif mudah untuk membuat produk multi material. Secara umum, MMLM terdiri dari dua sub-sistem yaitu: a) mekanisme *hardware* untuk pendeposisi material, dan b) perangkat lunak (*software*) sistem komputer untuk proses pengirisan pengolahan kontur kompleks untuk merencanakan *multi-toolpaths* yang mengontrol mekanisme deposisi material (Choi dan Cheung, 2005). Meskipun manfaatnya telah diakui secara luas, namun secara praktis MMLM masih harus dikembangkan, terutama untuk pembuatan objek yang relatif kompleks.

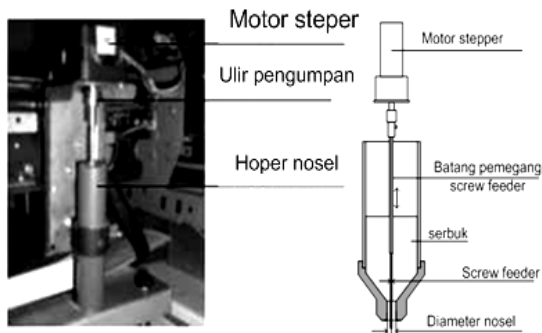
Salah satu metode pembuatan produk multi material yang masih dikembangkan saat ini adalah teknologi MMD-Is. MMD-Is merupakan teknik pembuatan produk berbahan baku serbuk yang dikerjakan secara lapis demi lapis melalui mekanisme pendeposisian serbuk sampai membentuk object yang ditentukan.

Proses pembuatan produk MMD-Is diawali dengan pembuatan gambar 3D kemudian dirubah menjadi penampang gambar 2D berupa data lintasan program. Selanjutnya menentukan kode-kode yang ada dalam MMD-Is untuk menentukan faktor pembatas dalam proses mesin. Pendeposisian serbuk produk dikerjakan melalui *hopper nozzle*, sedangkan sistem pendeposisian *supporting powder* menggunakan slot pengumpan-rol putaran balik. Setelah proses pendeposisian serbuk selesai, kemudian dilanjutkan dengan proses *sintering*.

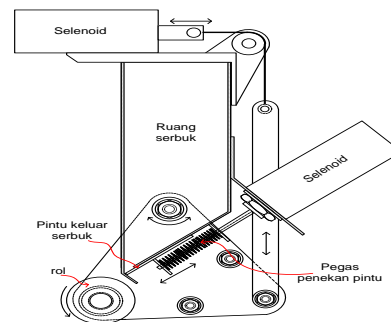


Gambar 1. Tahapan-Tahapan Proses MMD-Is (Widyanto dkk, 2007)

Metode pendeposisian serbuk MMD-Is terbagi menjadi 2 macam, yaitu metode deposisi serbuk produk dan metode deposisi serbuk penyangga. Konstruksi peralatan pendeposisi serbuk yang memungkinkan untuk aplikasi MMD-Is adalah bentuk *hopper nozzle*. Konstruksi ulir pengumpan memiliki permukaan helikoidal pada poros berputar dalam hoper nosel. Material yang keluar dari hoper nosel ditekan oleh bagian helikoidal tersebut sepanjang dasar hoper pada arah angkut (Bortolamasi dkk, 2001). Penggerak mekanisme ulir pengumpan hoper nosel sebagai pendeposisi serbuk produk berupa *stepper motor* yang memiliki variasi putaran 25-136 rpm. Putaran ulir pengumpan akan mempengaruhi kapasitas aliran serbuk yang keluar dari nosel. Pendeposisian serbuk penyangga dilakukan dengan mekanisme slot pengumpan-rol putaran balik. Arah putaran rol menentukan kondisi permukaan serbuk terdeposisi, kualitas permukaan serbuk terbaik diperoleh pada arah putaran kebalikan dengan arah gerakan pengerolan, untuk itu disebut rol putaran balik.



Gambar 2. Konstruksi Ulir Pengumpan Hoper Nosesl (Widyanto dkk, 2005).



Gambar 3. Konstruksi Slot Pengumpan-Rol utaran Balik (Widyanto dkk, 2007)

Salah satu unsur penting dalam proses pembuatan produk proses MMD-Is adalah karakteristik dari serbuk material, karena karakterisasi serbuk material akan mempengaruhi harga mampu alir (*flow-ability*). Maka dalam aplikasi proses MMD-Is, mampu alir serbuk merupakan faktor penentu keberhasilan proses. Aliran serbuk yang keluar dari mekanisme pendeposisi harus bersifat kontinyu dan dapat diatur kapasitas alirannya.

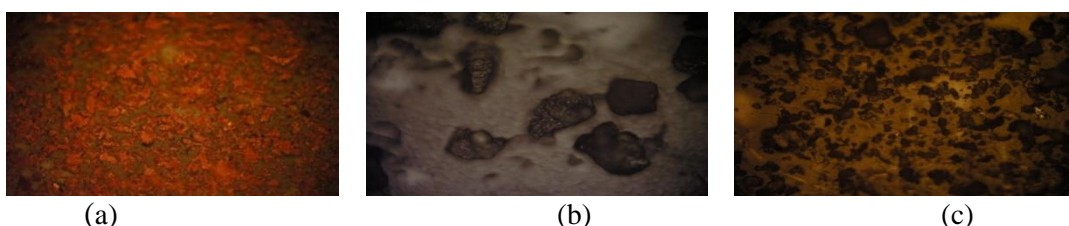
## METODOLOGI

Penelitian pengembangan proses *multi material deposition indirect sintering* bertujuan untuk a) Menentukan prosedur proses MMD-Is dalam pembuatan produk *multi material* melalui rancang bangun konstruksi *built part* mesin MMD-Is, b) Menentukan parameter mampu alir yang optimal (rasio diameter *orifice* dengan *screw feeder* dan putaran *screw feeder*) sehingga diperoleh aliran serbuk yang kontinyu, dan c) Menentukan variasi parameter deposisi (*scanning gap, feeding speed, deposition gap*) terhadap akurasi dimensi produk.

## BAHAN PENELITIAN

### Material Serbuk

Serbuk Cu (serbuk produk) menggunakan jenis pro-analysis produksi Merck KGaA Darmstadt Jerman. Geram besi cor (*supporting powder*) diperoleh dari limbah proses pemesinan produk pengecoran. Foto mikro serbuk Cu dan besi cor seperti pada Gambar 4.



Gambar 4 (a) Serbuk tembaga ukuran  $63 \mu\text{m}$  (b) Serbuk besi cor ukuran  $150-100 \mu\text{m}$  (c) Serbuk besi cor ukuran  $100-75 \mu\text{m}$ .

### Material Konstruksi *Built Part*

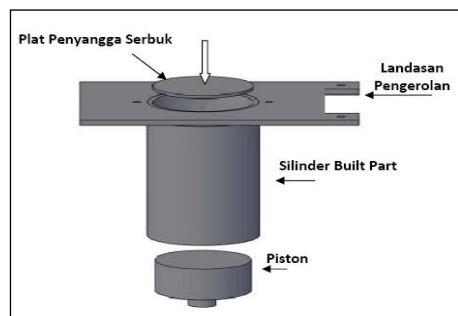
Material konstruksi *built part* adalah: a) plat tebal 6 mm untuk membuat plat rol, b) plat tebal 2 mm untuk membuat penyangga serbuk, c) pipa besi diameter 86 mm untuk membuat silinder *built part*, dan d) logam bulat aluminium untuk membuat piston.

### Alat Penelitian

Alat yang digunakan adalah penumbuk, ayakan, timbangan digital, jangka sorong, *feeler gauge*, mikroskop optik dan kamera digital, mesin MMD-Is dan komputer, dan *furnace*.

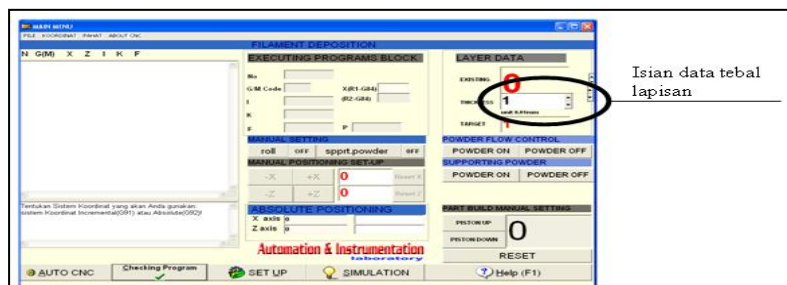
### Prosedur Penelitian

- a. Persiapan alat dan mesin MMD-Is. Tahap ini terbagi dalam tiga tahap, diantaranya adalah:
  1. Rancang bangun *built part*; konstruksi rancangan *built part* seperti pada gambar 5.



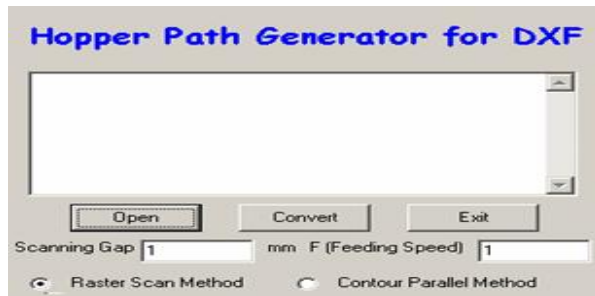
Gambar 5. Rancangan Konstruksi *Built Part*.

2. Persiapan *supporting powder*; geram besi cor ditumbuk sampai halus kemudian diayak dengan ukuran 100, 150, dan 200 mesh. Hasil proses pengayakan diperoleh serbuk dengan ukuran partikel 150-100  $\mu\text{m}$  dan 100-75  $\mu\text{m}$  seperti pada gambar 4 (b) dan (c).
3. Pengujian mampu alir serbuk; pengujian mampu alir dilakukan terhadap serbuk produk dan *supporting powder*. Untuk mendapatkan karakteristik aliran yang kontinu maka harus memvariasikan parameter luasan efektif (diameter lubang nosel/ diameter ulir pengumpan) lubang nosel dan pengaturan putaran *screw feeder* pada motor stepper. Laju aliran yang keluar diamati dari masing-masing sampling waktu per-menit.
- b. Integrasi/eksekusi mesin MMD-Is; Dalam proses ini terlebih dahulu dibuat program input data dengan mengisikan data tebal lapisan pada perangkat lunak sistem operasi mesin seperti pada gambar 6. Tebal lapisan ditentukan sebesar 1 mm. Spesimen produk penelitian berbentuk balok empat persegi panjang dengan ukuran 40 x 15 x 5 mm.

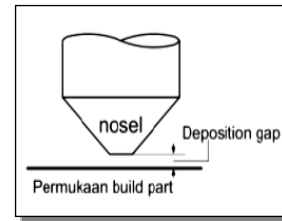


Gambar 6. Tampilan Sistem operasi mesin MMD-Is

- c. Pembuatan produk; untuk menghasilkan produk dengan akurasi yang optimal maka perlu memvariasikan parameter deposisi harga *scanning gap* dan *feeding speed* pada program komputer pembentuk lintasan deposisi seperti pada tampilan gambar 7. Pengaturan *deposition gap* dengan mengukur jarak ujung nosel dengan permukaan *built part* menggunakan *feeler gauge* seperti pada gambar 8.



Gambar 7. Tampilan pembentuk lintasan deposisi



Gambar 8. Deposition Gap

proses pembuatan produk diawali dengan pendeposisian *supporting powder* sebagai dasar untuk menyangga serbuk produk. Kemudian dilanjutkan pendeposisian serbuk produk yang dialirkan dari *screw feeder hopper nozzle*. Pada saat pengerjaan lapisan pertama selesai, kemudian slot pengumpan-rol putaran balik mendeposisikan *supporting powder*. Proses pendeposisian tersebut berulang sampai mencapai tebal spesimen produk.

- d. Proses *sintering*; proses *sintering* dalam tungku *hofmann* dengan seting temperatur 900 °C dan waktu penahanan selama 4 jam. Setelah mencapai waktu penahanan, kemudian saklar dimatikan dan menunggu produk sampai dingin.
- e. Analisa produk; Pengukuran akurasi dimensi produk dengan cara spesimen dibersihkan dengan kuas cat untuk melepaskan serpihan *supporting powder* dari permukaan produk.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

- a. Rancangan konstruksi built part dapat diaplikasikan untuk membuat produk MMD-Is, hal ini akan memungkinkan dalam pembuatan produk dengan jenis material serbuk yang lain.
- b. Hasil pengujian variasi parameter mampu alir

Tabel 1. Mampu alir serbuk dengan memvariasikan ukuran partikel serbuk.

<b>Lubang nosel 0.8mm, Diameter screw feeder 0.5 mm, sudut hopper 20°</b>				
Sampling Menit ke-	Besi Cor		Sampling Detik ke-	Tembaga
	100-75 µm	100-150 µm		63 µm
2	0,911	0,896	37	0,0093
7	0,971	0,869	44	0,0089
12	0,801	0,842	55	0,0084
17	0,882	0,778	67	0,0081
22	0,774	0,729	80	0,0086
27	0,555	0,713	95	0,0073

Aliran serbuk besi cor 100-75 µm hampir sama dengan aliran serbuk 150-100 µm. sedangkan aliran serbuk tembaga 63 µm memiliki mampu alir yang rendah, hal ini menunjukkan bahwa semakin kecil ukuran partikel, sifat kohesif serbuk akan meningkat dan menurunkan mampu alirnya.

Tabel 2. Mampu alir serbuk dengan mevariasikan putaran *screw feeder*.

<b>Serbuk tembaga 63 µm, lubang nosel 0.8mm, Diameter screw feeder 0.5 mm, sudut hopper 25°</b>			
Waktu Sampling Detik ke-	Putaran Screw Feeder		
	25 rpm	50 rpm	80 rpm
37	0,0064	0,0073	0,0080
44	0,0067	0,0077	0,0084
55	0,0069	0,0074	0,0090

Dengan memvariasikan putaran screw feeder maka dapat diketahui bahwa semakin tinggi putaran screw feeder, aliran serbuk yang keluar semakin meningkat. Maka kecepatan ulir pengumpan berpengaruh pada mampu alir serbuk.

Tabel 3. Mampu alir serbuk dengan memvariasikan putaran *screw feeder*.

<b>Besi cor 100-150 <math>\mu\text{m}</math> (D = 0,8 mm) sudut hopper 25°</b>		
<b>Waktu Sampling Menit ke-</b>	<b>D/d = 1,6</b>	<b>D/d = 1,4</b>
	<b>Aliran Serbuk (g/s)</b>	<b>Aliran Serbuk (g/s)</b>
2	0,911	0,102
7	0,971	0,452
12	0,801	0,534
17	0,882	0,078
22	0,774	0,084
27	0,555	0,126

Aliran serbuk metode *screw feeder* dipengaruhi oleh luasan efektif lubang norsel dan diameter *screw feeder* (D/d). Semakin besar (D/d) maka jumlah serbuk yang keluar secara bersamaan semakin banyak. Aliran serbuk yang keluar juga dapat terjadi karena partikel serbuk saling menggelinding akibat gaya grafitasi maupun bergeseknya permukaan partikel dengan permukaan *screw feeder*.

## c. Hasil Pengujian variasi parameter deposisi.

Tabel 4. Pengukuran akurasi dimensi dengan memvariasikan *scanning gap* (*feeding speed* 3 mm/s, *deposition gap* 1 mm, tebal lapisan 1 mm, *supporting powder* 100-150  $\mu\text{m}$ )

<b>Scanning Gap (mm)</b>	<b>Dimensi Programming</b>			<b>Dimensi Produk</b>			
	<b>Searah Roll (mm)</b>	<b>Tegak Lurus Roll (mm)</b>	<b>Tebal Layer (mm)</b>	<b>Searah Roll (mm)</b>	<b>Tegak Lurus Roll (mm)</b>	<b>Tebal (mm)</b>	<b>Jumlah Layer</b>
1	40	15	1	44	18,4	2,8	2
	40	15	1	44	17,9	2,6	2
	40	15	1	44,2	17,2	2,6	2
	40	15	1	43,8	16,8	2,6	2
	40	15	1	44	18,2	2,6	2
1,5	40	15	1	41,7	16,6	2,5	2
	40	15	1	41,7	16,6	2,5	2
	40	15	1	41,7	16,6	2,5	2
	40	15	1	41,9	16,4	2,5	2
	40	15	1	41,4	16,5	2,5	2

Akurasi dimensi dicapai pada harga *scanning gap* 1,5 mm, pemilihan harga *scanning gap* sama dengan lebar lintasan dan tebal lapisan mendekati tinggi lintasan deposisi menyebabkan meningkatnya *supporting powder* yang terjebak dalam serbuk produk. Secara teoritis, pergeseran dimensi produk dalam arah pengerolan tidak terjadi.

Tabel 5. Pengukuran akurasi dimensi dengan memvariasikan *deposition gap* (*feeding speed* 3 mm/s, *scanning gap* 1,5 mm, tebal lapisan 1 mm, *supporting powder* 100-150  $\mu\text{m}$ )

<b>Deposition Gap (mm)</b>	<b>Dimensi Programming</b>			<b>Dimensi Produk</b>			
	<b>Searah Roll (mm)</b>	<b>Tegak Lurus Roll (mm)</b>	<b>Tebal Layer (mm)</b>	<b>Searah Roll (mm)</b>	<b>Tegak Lurus Roll (mm)</b>	<b>Tebal (mm)</b>	<b>Jumlah Layer</b>
1	40	15	1	42,4	18	2,6	2
	40	15	1	41,9	18	2,5	2
	40	15	1	41,2	18,2	2,5	2
	40	15	1	40,8	17,8	2,5	2
	40	15	1	42,2	18	2,5	2
2	40	15	1	41,4	17,8	2,7	2
	40	15	1	42,3	17,4	2,6	2
	40	15	1	42,1	17,9	2,7	2
	40	15	1	41,9	17,2	2,6	2
	40	15	1	41,1	19	2,7	2

Akurasi dimensi diperoleh pada harga *deposition gap* 1mm. Semakin besar *deposition gap*, serbuk cenderung menyebar sehingga lintasan deposisi melebar. Namun, bila *deposition gap* terlalu kecil

(relatif terhadap mampu alir serbuk), lintasan deposisi menjadi tumpul akibat tergeseknya puncak lintasan deposisi oleh ujung nosel, serbuk bergeser ke samping sehingga kemiringan lintasan deposisi membesar.

Tabel 5. Pengukuran akurasi dimensi dengan memvariasikan *feeding speed* (*scanning gap* 1,5 mm, *deposition gap* 1 mm, tebal lapisan 1 mm, *supporting powder* 100-150  $\mu$ m)

Feeding Speed (mm/s)	Dimensi Programming			Dimensi Produk			
	Searah Roll (mm)	Tegak Lurus Roll (mm)	Tebal Layer (mm)	Searah Roll (mm)	Tegak Lurus Roll (mm)	Tebal (mm)	Jumlah Layer
1	40	15	1	41,6	18,9	2,7	2
	40	15	1	41,9	19	2,8	2
	40	15	1	41,9	18,8	2,8	2
	40	15	1	41,7	18,7	2,9	2
3	40	15	1	41	41,2	2,6	2
	40	15	1	41,3	41,8	2,6	2
	40	15	1	41,3	41,5	2,6	2
	40	15	1	41	42	2,5	2

Harga *feeding speed* yang rendah menyebabkan volume serbuk per-satuan panjang lintasan meningkat, sehingga dimensi lintasan deposisi membesar (lebar dan tinggi penampang lintasan deposisi membesar). Akurasi dimensi pada harga *speeding speed* 3 mm/detik menunjukkan bahwa ketinggian lintasan deposisi relatif konstan, sehingga proses pengerolan tidak menyebabkan terpankasnya puncak lintasan deposisi. Pada kisaran harga *feeding speed* ini pergeseran dimensi relatif konstan.

## KESIMPULAN

- Pembuatan produk proses MMD-Is dapat diaplikasikan untuk material serbuk logam yang memiliki temperatur tinggi, yaitu dengan cara merubah konstruksi *built part*.
- Mampu alir serbuk dapat ditentukan dengan memvariasikan parameter luasan lubang efektif nosel dengan diameter *screw feeder* dan putaran *screw feeder*.
- Akurasi dimensi produk dapat ditingkatkan dengan mengatur variasi harga parameter deposisi (*scanning gap*, *deposition gap*, dan *feeding speed*).

## DAFTAR PUSTAKA

- Bortolamasi, M, and Fottner, J., (2001), “*Design and Sizing of Screw feeders*”, Paper of International Congress for Particle Technology, Nuremberg, Germany.
- Choi, S.H., Cheung, H.H., (2005), “*A Multi-Material Virtual Prototyping System for Product Development and Biomedical Engineering*” Computer-Aided Design & Applications, Vol. 2, Nos. 1-4, pp 329-338.
- Widyanto, S.A., Tontowi, A.E., Jamasri., dan Rochardjo, H.S.B., (2005), “*Development of Low Frequency Vibration Method of Direct-Write Deposition Relevant to Layer Manufacturing Application*,” Makara, Vol. 9, No. 2, pp. 53-5.
- Widyanto, S.A., Tontowi, A.E., Jamasri., dan Rochardjo, H.S.B., (2005), “*Development of Screw Feeder Hoper Nozzle of Direct- Write Deposition Applicable to Layer Manufacturing Process*,” Forum Teknik, Vol. 29, No. 3, pp. 207-10.
- Widyanto, S.A., Tontowi, A.E., Jamasri. dan Rochardjo, H.S.B., (2007), “*Direct-Write Filament Deposition Applicable to Layer Manufacturing Process*” Makara-Seri Teknologi, Universitas Indonesia.
- Widyanto, S.A., (2008), “*Proses-Proses RP dan Pengembangannya*”, Bab 3 dalam Proses Sinter – Deposisi Multi Material (MMD-Is).