

## Pengembangan Metode Pembuatan *Molding* Injeksi Plastik dari Serbuk Komposit

Suryo Darmo<sup>1</sup>, Alva Edy Tontowi<sup>2</sup>, Suyitno<sup>2</sup>, Muslim Mahardika<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Teknik Mesin, Sekolah Vokasi, Universitas Gadjah Mada

<sup>2</sup>Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada,  
(sur\_yadar\_ma@yahoo.com.sg)

### Abstract

*Aluminium-particulate glass matrices composites generally use the pressure in the making of green parts/green specimens before heating at sintering temperature. The purpose of this research is to develop the glass composites that it can be used as a material for indirect layer manufacturing, especially used for making plastic injection mold/insert mold. To achieve these goals, the flexural strength and dimensional errors were studied.*

*Starting materials consist of the mixture of glass powders, aluminium powders, and acrylic powders in the volume ratio of 1 : 1 : 1. The glass powders and aluminium powders were recovered from waste materials. The size of acrylics and glass particles was lower than 0.074 mm and aluminium particles size was lower than 0.297 mm respectively. Green specimens were made by using indirect layer manufacturing processes, while sintered specimens obtained by heating the green specimens in a furnace at a temperature of 700°C for 1 hour. Finished specimens were made by impregnation process of sintered specimens using epoxy resin.*

*The bending strength of green specimens, sintered specimens, and finished specimens is 20 kg/cm<sup>2</sup>, 80 kg/cm<sup>2</sup>, and 170 kg/cm<sup>2</sup> respectively. Maximum dimensional error of green specimens and sintered specimens is 50% and 40% respectively. Insert mold made by indirect layer manufacturing is broken after producing as many as 120 pieces of plastic products.*

**Keywords:** *glass matrix composite, insert mold, dimensional error, bending strength.*

### 1. Pendahuluan

Perkembangan industri barang plastik di Indonesia semakin pesat terutama di kalangan UKM (usaha kecil menengah). Peralatan *mold* pada mesin injeksi plastik untuk memproduksi barang plastik dengan variasi bentuk dan dimensi, dan dengan harga yang lebih terjangkau oleh khususnya usaha kecil menengah (UKM) sangat dibutuhkan. Teknologi pembuatan benda tiga dimensi dengan proses *layer manufacturing* adalah salah satu metode yang dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan tersebut. Penggunaan bahan yang murah seperti barang bekas (limbah) akan dapat mengurangi biaya atau harga dari *mold*. Proses *layer manufacturing* dengan menggunakan serbuk baik serbuk logam maupun serbuk bukan logam sudah banyak diteliti untuk membentuk benda tiga dimensi. Pada penelitian ini, bahan baku yang digunakan adalah serbuk akrilik, limbah serbuk aluminium dan limbah kaca. Proses

*layer manufacturing* dilakukan dengan menggunakan mesin yang diberi nama *Selective Heater Melting* (SHM) (Wahyudi, 2010).

### 2 Fundamental

Komposit sering menggunakan logam dan polimer sebagai matriks. Selain kedua bahan tersebut, kaca juga sudah digunakan sebagai matriks dari komposit. Keuntungan komposit ini antara lain ialah temperatur *sintering* yang rendah yaitu sekitar 50°C di atas temperatur pelunakan *dilatometric*, dan hemat energi (Bernardo, dkk., 2003).

Penelitian tentang komposit dengan matriks kaca silikat-timbal (*lead-silicate glass matrix*) sudah pernah dilakukan oleh Bernardo, dkk. (2003) dengan menggunakan partikel aluminium sebagai penguatnya. Bahan yang digunakan berasal dari limbah kaca silikat-timbal yang

didapat dari moni-tor *cathode ray tubes (CRTs)* TV dan PC yang telah rusak. Kaca dihancurkan menggunakan *dry ball mill* dan diayak dengan ukuran  $<37 \mu\text{m}$ . Ukuran partikel serbuk Al adalah  $<75 \mu\text{m}$  (200 Mesh), digunakan sebagai penguat. Campuran 80% volume serbuk kaca dan 20% volume serbuk aluminium ditekan (*pressed*) secara uniaksial pada tekanan 350 bar (35 MPa) di dalam cetakan baja (penampang segi empat, 50 mm x 34 mm) dengan menggunakan penekan hidrolik yang dilakukan pada temperatur kamar (*cold-pressing*) sehingga membentuk *compact* yang kemudian disinter tanpa-tekanan (*pressure-less sintered*) pada temperatur 600°C selama 5 jam. Kekuatan lentur (*bending strength*) yang dicapai oleh spesimen adalah  $65,40 \pm 9,32 \text{ MPa}$ , sedangkan densitas relatif adalah 2,9294 hingga 2,9334  $\text{g/cm}^3$ .

Montazerian, dkk. (2008) meneliti komposit keramik-kaca mika (*mica glass-ceramic composites*) yang diperkuat dengan *partially stabilized zirconia (Y-PSZ)* dengan variasi prosen berat sebesar 5%, 10% dan 15%. Serbuk kaca mempunyai ukuran partikel rata-rata 12,5  $\mu\text{m}$ , sedangkan serbuk Y-PSZ mempunyai ukuran partikel 0,89  $\mu\text{m}$ . Campuran ditekan menggunakan *uniaxial hydraulic press* ke dalam *discs* (diameter 10mm dan tebal 4mm) pada tekanan 65 MPa pada temperatur kamar, kemudian disinter tanpa tekanan pada temperatur berkisar 1060–1170 °C dengan waktu penahanan 240 menit. Kekuatan lentur maksimum terjadi pada penambahan 15 % berat  $\text{ZrO}_2$ , yaitu sebesar  $132,47 \pm 13,80 \text{ MPa}$ . Densitas relatif komposit pada komposisi tersebut adalah 92,4%.

Pengaruh temperatur *sintering* komposit matriks kaca terhadap densitas benda (*bulk density*) diteliti oleh Rajesh, dkk. (2012). Alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) yang mempunyai ukuran rata-rata partikel 5 $\mu\text{m}$  digunakan sebagai pengisi (*filler*) di dalam matriks kaca G018-250 (*lead-free aluminoborosilicate and bismuth glass*) yang mempunyai ukuran partikel 4 $\mu\text{m}$ . Campuran 50% berat  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dan 50% berat kaca ditekan secara uniaksial menjadi pelet (*pellets*) berdiameter 11 mm dan tinggi 2 mm. Pelet disinter pada temperatur berkisar 600°C hingga 750°C, laju pemanasan 5°C/min dalam lingkungan udara biasa (*ambient atmosphere*). Densitas maksimum terjadi pada temperatur *sintering* 650°C dan cenderung turun pada temperatur *sintering* yang lebih tinggi.

Densitas benda (*bulk density*) maksimum tersebut sekitar 4,0  $\text{g/cm}^3$ .

Penyusutan memanjang (*linear shrinkage*) dan densitas relatif komposit  $\text{Al}_2\text{O}_3$  -50% kaca PBS (*lead borosilicate glass*) sebagai fungsi temperatur *sintering* telah diselidiki oleh Kim, dkk. (2010). Sampel jenis *disk* berdiameter 15 mm disiapkan dengan penekanan (*pressing*) campuran serbuk pada tekanan 50 MPa dan temperatur *sintering* antara 600-950°C selama 2 jam. Penyusutan dan densitas relatif (*re-lative density*) menunjukkan peningkatan dengan naiknya temperatur *sintering* sampai temperatur 800°C, kemudian menunjukkan kecenderungan yang tetap (sama) pada temperatur di atas 800°C. Penyusutan memanjang maksimum adalah sekitar 18% sedangkan densitas relatif (*relative density*) adalah sekitar 92  $\text{g/cm}^3$ .

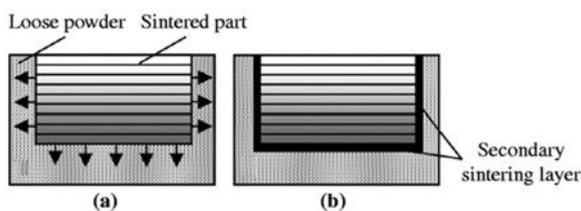
Pada proses *indirect layer manufacturing*, campuran serbuk terdiri bahan utama dan pengikat (*binder*) yang umumnya dari polimer. Benda hasil proses *indirect layer manufacturing* terbentuk karena adanya *binder* yang meleleh dan menjadi pengikat antar butir dari serbuk bahan utama. Benda yang dihasilkan disebut *green part/green specimen*. *Green part/green specimen* selanjutnya disinter dalam tungku agar *binder* menjadi menguap dan terjadi ikatan antar butir bahan utama karena terjadi proses *sintering*, sehingga terbentuk *sintered part/ sintered specimen*. Karena tidak ada proses penekanan selama pembuatan benda, maka kekuatannya jauh lebih rendah dari proses yang menggunakan penekanan (*pressing*).

Komposit dengan campuran bahan baku yang terdiri dari serbuk kaca (bahan utama), serbuk aluminium (bahan utama), dan serbuk akrilik (*binder*) dengan perbandingan volume masing-masing 3:2:1 telah diteliti oleh Darmo, dkk. (2013). Ukuran partikel masing-masing  $<0,425 \text{ mm}$ . *Green specimen* dibuat dengan memasukkan campuran bahan-bahan tersebut ke dalam cetakan kertas karton berukuran 10x10x90  $\text{mm}^3$  dan dipanasi dalam tungku pada temperatur 250°C selama 1 jam. Pada pemanasan tersebut akrilik meleleh dan menjadi pengikat butir-butir serbuk kaca dan aluminium. *Green specimen* selanjutnya dibuat menjadi *sintered specimen* dengan jalan dipanasi dalam tungku pada temperatur 600°C, 650°C, dan 700°C selama 1 jam, agar *binder* menguap dan terjadi proses *sintering* antara butir-

butir serbuk kaca dan aluminium. Kekuatan lentur maksimum *sintered specimen* ( $40 \text{ kg/cm}^2$ ) terjadi pada temperatur *sintering*  $650^\circ\text{C}$ ; penyusutan memanjang maksimum ( $8,42\%$ ) terjadi pada temperatur *sintering*  $700^\circ\text{C}$ .

Darmo (2013) melakukan penelitian yang serupa, menggunakan campuran serbuk aluminium, serbuk kaca, dan serbuk akrilik dengan perbandingan volume masing-masing adalah 1:1:1. Ukuran serbuk aluminium  $<0,297 \text{ mm}$ , sedangkan ukuran serbuk kaca dan serbuk akrilik masing-masing adalah  $<0,074 \text{ mm}$ . Proses *sintering* dilakukan pada temperatur  $650, 700, 750, 800,$  dan  $850^\circ\text{C}$  dengan kekuatan lentur yang dihasilkan masing-masing adalah  $312,30; 164,80; 323,20; 314,80;$  dan  $227,20 \text{ kg/cm}^2$ . Adanya peningkatan kekuatan lentur ini disebabkan oleh ukuran butir serbuk yang lebih kecil dan komposisi yang tepat.

Proses *layer manufacturing* yang melibatkan panas seperti pada proses *Selective Laser Sintering* (SLS) akan menyebabkan terjadinya kesalahan dimensi (*dimensional error*) pada benda yang dihasilkan. Hal ini terjadi karena adanya *secondary sintering layer* seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 1 (Yan, dkk., 2009). Besar kesalahan dimensi akan berbeda untuk arah sumbu-X, sumbu-Y, dan sumbu-Z. Gambar 2 dan Gambar 3 menunjukkan gerakan pemanas ke arah sumbu-X, dan sumbu-Y, sedangkan arah sumbu-Z merupakan arah bertambahnya jumlah *layer* (ketebalan) pada pembuatan spesimen (Yan, dkk., 2009).



**Gambar 1.** Pengaruh *secondary sintering layer* terhadap kesalahan dimensi pada proses *layer manufacturing* (Yan, dkk., 2009)

Kesalahan dimensi (*dimensional error*) dihitung dengan persamaan berikut (Yan, dkk., 2009):

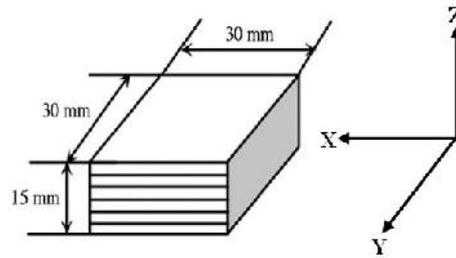
$$S = [(A_1 - A_0)/A_0] \times 100\% \quad (1)$$

dengan:

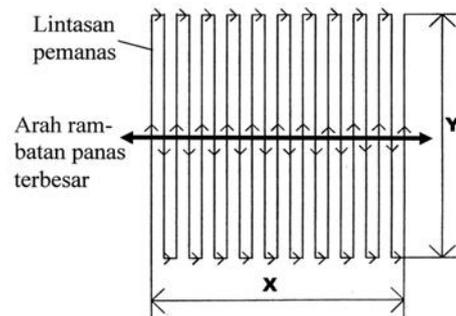
$S$  = *dimensional error*;

$A_1$  = ukuran sebenarnya pada spesimen menggunakan jangka sorong;

$A_0$  = ukuran rencana seperti yang ditentukan pada computer.



**Gambar 2.** Gerakan pemanas pada arah sumbu-X dan sumbu-Y; jumlah layer bertambah ke arah sumbu-Z (Yan, dkk., 2009)



**Gambar 3.** Gerakan pemanas pada arah sumbu-X dan arah sumbu-Y

### Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian adalah sebagai berikut:

- Membuat benda dari komposit dengan campuran serbuk aluminium, serbuk kaca, dan serbuk akrilik dengan perbandingan volume masing-masing adalah 1:1:1, menggunakan proses *indirect layer manufacturing*.
- Menguji kekuatan lentur komposit yang dihasilkan oleh proses *indirect layer manufacturing*.
- Menguji kesalahan dimensi (*dimensional error*) komposit yang dihasilkan dari proses *indirect layer manufacturing*.
- Membuat dan menguji *insert mold* menggunakan komposit dengan bahan baku campuran serbuk aluminium, serbuk kaca, dan serbuk akrilik dengan perbandingan volume masing-masing adalah 1:1:1, menggunakan proses *indirect layer manufacturing*. *Insert mold* diuji kehandalannya dengan cara dipakai langsung pada produksi barang plastik di industri.

### 3. Metodologi

#### 3.1. Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari:

- a. Serbuk kaca (< 0,074 mm, mesh 200);
- b. Serbuk aluminium < 0,297 mm, mesh 50);
- c. Serbuk akrilik (< 0,074 mm, mesh 200);
- d. Resin epoksi dan hardener.

Komposisi masing-masing serbuk ditunjukkan pada Tabel 1, Tabel 2, dan Tabel 3; bentuk dan distribusi partikel ditunjukkan pada Gambar 4.

**Tabel 1.** Komposisi serbuk kaca.

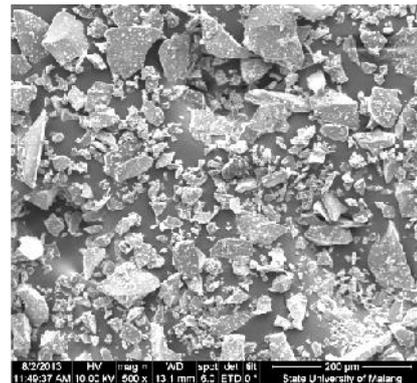
No.	Komposisi Kaca (%)	
1.	SiO <sub>2</sub>	70
2.	K <sub>2</sub> O	1,5
3.	CaO	24,7
4.	TiO <sub>2</sub>	0,43
5.	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,075
6.	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,01
7.	MnO	0,074
8.	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,8
9.	NiO	0,959
10.	CuO	0,12
11.	ZnO	0,014
12.	BaO	0,1
13.	Re <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	0,1

**Tabel 2.** Komposisi serbuk aluminium.

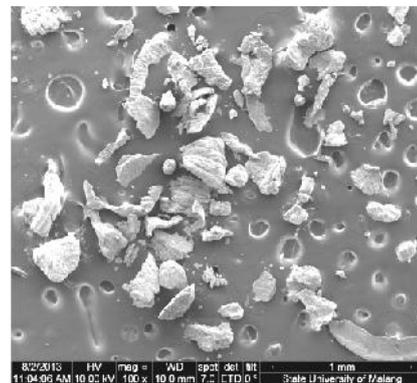
No.	Unsur	% Berat	% Atom
1.	Al	96,14	95,90
2.	Mg	02,67	02,96
3.	Si	01,19	01,14

**Tabel 3.** Komposisi serbuk akrilik

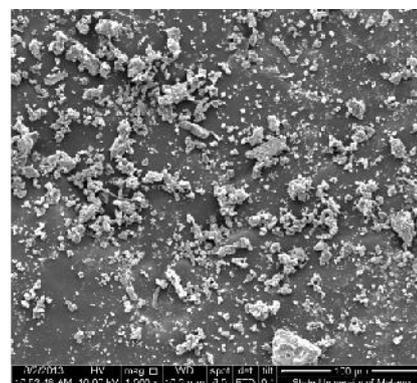
No.	Unsur	% Berat	% Atom
1.	C	08,10	14,13
2.	O	34,78	45,53
3.	Na	16,67	15,19
4.	Mg	00,79	00,68
5.	Al	00,96	00,74
6.	Si	15,73	11,73
7.	Ca	22,96	12,00



a)



b)



c)

**Gambar 4.** Bentuk dan distribusi partikel, a) kaca, b) aluminium, c) akrilik.

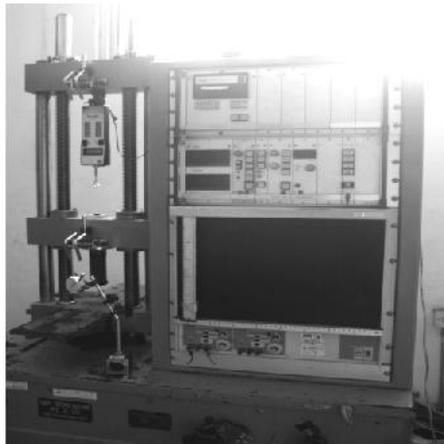
#### 3.2. Alat

Alat yang digunakan terdiri dari:

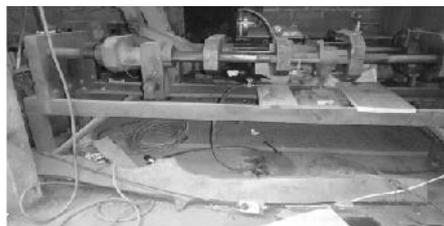
- a. Mesin *Selective Heater Melting* (SHM);
- b. *Universal Testing Machine* merk TORSEE, kapasitas 5 ton;
- c. Mesin injeksi plastik;
- d. Tungku pemanas;
- e. Alat uji kekasaran permukaan;
- f. Alat uji kekerasan (BHN);
- g. Jangka sorong;
- h. Termokopel.



a)



b)

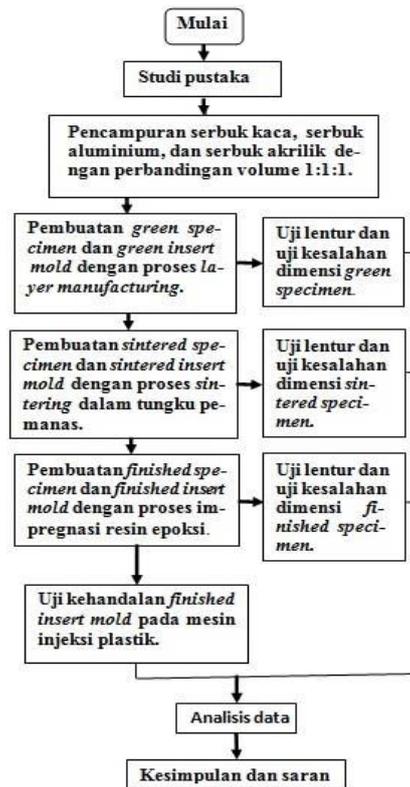


c)

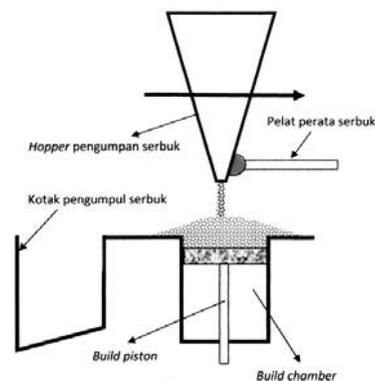
**Gambar 5.** a) Mesin *Selective Heater Melting* (SHM), b) *Universal Testing Machine* merk TORSEE kapasitas 5 ton, c) mesin injeksi plastik.

### 3.3. Jalannya penelitian

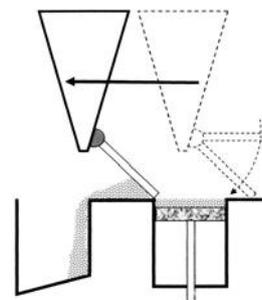
Bagan alir jalannya penelitian ditunjukkan pada Gambar 6. Serbuk kaca, serbuk aluminium, dan serbuk akrilik dicampur sampai rata secara manual dengan perbandingan volume 1:1:1. Langkah-langkah pembuatan *green specimen* dengan menggunakan mesin *Selective Heater Melting* (SHM) ditunjukkan secara skematis pada Gambar 7 hingga Gambar 11. Spesimen untuk uji lentur dirancang menurut program komputer berukuran  $10 \times 10 \times 80 \text{ mm}^3$  (Gambar 12), sedangkan spesimen untuk uji kesalahan dimensi berukuran  $30 \times 30 \times 30 \text{ mm}^3$  (Gambar 13). Jumlah spesimen untuk uji lentur adalah 15 buah, sedangkan untuk uji kesalahan dimensi hanya 5 buah.



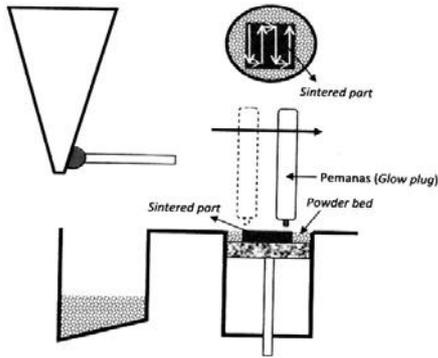
**Gambar 6.** Bagan alir jalannya penelitian.



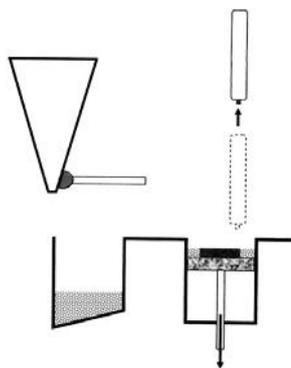
**Gambar 7.** Hopper pengumpan campuran serbuk bergerak dari kiri ke kanan dan menaburkan campuran serbuk ke dalam *build chamber* di atas *build piston*.



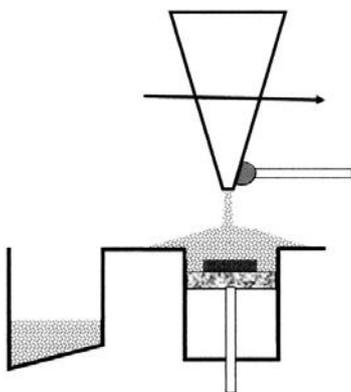
**Gambar 8.** Pelat perata serbuk turun dan digeser dari kanan ke kiri untuk meratakan permukaan campuran serbuk yang ada dalam *build chamber*.



**Gambar 9.** Pemanas (*glow plug*) turun mendekati dan memanasi permukaan campuran serbuk sehingga terbentuk satu lapis (*layer*) *green part*.



**Gambar 10.** *Build piston* turun sebesar ukuran satu lapis sedangkan pemanas (*glow plug*) naik ke posisi semula bersamaan dengan turunnya *build piston*.



**Gambar 11.** Proses berulang seperti awal untuk membuat lapis-lapis berikutnya.



**Gambar 12.** *Green specimen* untuk uji lentur terbentuk (tersusun) dari 10 lapis (*layer*).



**Gambar 13.** *Green specimen* untuk uji kesalahan dimensi (*dimensional error*), terbentuk (tersusun) dari 30 lapis (*layer*).

Jumlah *green specimen* untuk uji lentur (*bending*) dan uji kesalahan dimensi dibuat masing-masing 5 buah. Uji lentur menggunakan *Universal Testing Machine*, diuji menurut standar ASTM D 790 – 07 (2007). Uji kesalahan dimensi diukur pada arah-X, arah-Y, dan arah-Z menggunakan jangka sorong.

*Sintered specimen* untuk uji lentur dibuat dengan memanaskan 10 buah *green spesimen* dalam tungku pada temperatur 700°C selama satu jam. Laju pemanasan 20°C/menit; pendinginan dilakukan dalam tungku. Jumlah *sintered specimen* yang digunakan untuk uji lentur 5 buah, sedangkan 5 buah sisanya dipersiapkan untuk pembuatan *finished specimen*. Prosedur uji lentur *sintered specimen* adalah sama dengan yang dilakukan pada uji lentur *green specimen*. *Sintered specimen* untuk uji kesalahan dimensi dibuat dengan memanaskan 5 buah *green spesimen* (yang sudah diukur untuk uji kesalahan dimensi yang sebelumnya) di dalam tungku pada temperatur 700°C selama 1 jam. Laju pemanasan 20°C/menit; pendinginan dilakukan dalam tungku. Cara mengujinya sama dengan uji kesalahan dimensi *green specimen*.

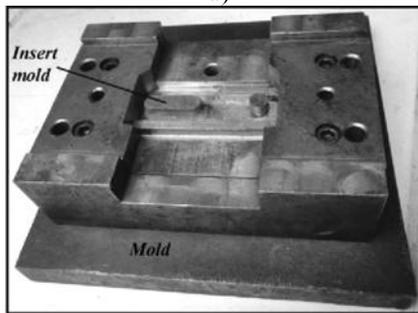
*Finished specimen* untuk uji lentur dibuat dengan melakukan proses impregnasi pada 5 buah *sintered spesimen* (yang sudah dipersiapkan sebelumnya), menggunakan resin epoksi sebagai bahan impregnasi. Prosedur uji lentur *finished specimen* adalah sama dengan yang dilakukan pada uji lentur *green specimen*.

*Finished insert mold* yang akan digunakan pada uji kehandalan pada mesin injeksi plastik, dibuat dengan prosedur yang sama pada pembuatan spesimen uji lentur maupun uji kesalahan dimensi. *Finished insert mold* yang dibuat dengan mesin *Selective Heater Sintering* (SHM) ditunjukkan pada Gambar 14a, sedangkan pemasangan *finished insert mold* pada *mold* utama yang terbuat dari baja ditunjukkan pada Gambar 14b. Gambar 14c adalah satu set *mold* lengkap yang akan digunakan untuk uji kehandalan *finished insert mold*. Dengan menggunakan alat uji kekasaran permukaan, *finished insert mold* mempunyai harga kekasaran permukaan rata-rata 2,454 Ra ( $\mu\text{m}$ ).

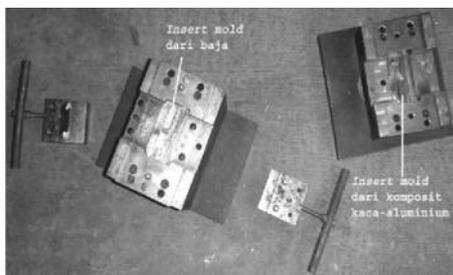
Pengujian kehandalan *finished insert mold* dilakukan bekerja sama dengan perusahaan yang kategori usaha kecil menengah (UKM) yaitu “CV JULANG MARCHING” alamat Maredan RT 39 RW 01, Sendangtirto, Berbah, Sleman, Yogyakarta 55573.



a)



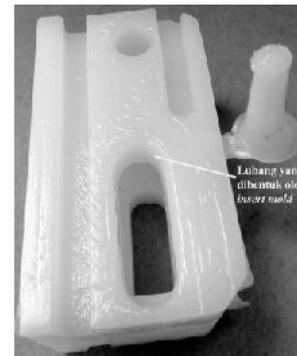
b)



c)

**Gambar 14.** a) *Finished insert mold*, b) *finished insert mold* terpasang pada *mold* baja, c) satu set *mold* lengkap yang akan digunakan untuk uji kehandalan *finished insert mold*.

Produk yang dihasilkan dari uji kehandalan *finished insert mold* adalah *slider plastic* seperti ditunjukkan pada Gambar 15. *Insert mold* berfungsi untuk membentuk lubang seperti yang tampak pada Gambar 15. Bahan yang digunakan adalah polimer jenis HDPE (*high density polyethylene*).



**Gambar 15.** *Slider plastic* dengan lubang yang dibentuk oleh *finished insert mold*.

#### 4. Hasil dan Pembahasan

##### 4.1. Hasil penelitian

Dari pengujian dimensi didapatkan data seperti ditunjukkan pada Tabel 4. Dengan menggunakan persamaan (1) dan harga  $A_0 = 30 \text{ mm}$ , didapatkan data kesalahan dimensi (*dimensional error*) seperti ditunjukkan pada Tabel 5. Dari Tabel 5 dibuat grafik hubungan antara perlakuan spesimen terhadap kesalahan dimensi, seperti ditunjukkan pada Gambar 16.

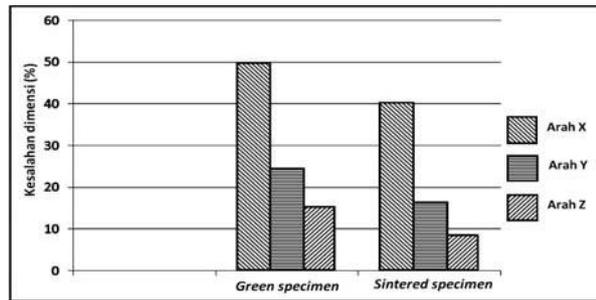
Hasil pengujian lentur terhadap *green specimen*, *sintered specimen*, dan *finished specimen* ditunjukkan pada Tabel 6, dan dinyatakan dalam bentuk grafik seperti ditunjukkan pada Gambar 17.

**Tabel 4.** Dimensi *green specimen* dan *sintered specimen*.

No	Dimensi <i>green specimen</i> , hasil <i>layer manufacturing</i>			Dimensi <i>sintered specimen</i> , pemanasan pada 700°C		
	Arah X (mm)	Arah Y (mm)	Arah Z (mm)	Arah X (mm)	Arah Y (mm)	Arah Z (mm)
1.	44,6	37,0	35,5	42,25	34.15	33.0
2.	46,45	38,05	34,75	42,5	35.5	32.25
3.	44,0	37,1	33,6	41,5	35.1	32.7

**Tabel 5.** Kesalahan dimensi (*dimensional error*) green specimen dan sintered specimen.

No	Kesalahan dimensi <i>green specimen</i> , hasil <i>layer manufacturing</i>			Kesalahan dimensi <i>sintered specimen</i> , pemanasan pada 700°C		
	Arah X (%)	Arah Y (%)	Arah Z (%)	Arah X (%)	Arah Y (%)	Arah Z (%)
1.	48,66	23,33	18,33	40,83	13,83	10,00
2.	54,83	26,83	15,83	41,66	18,33	7,50
3.	46,66	23,66	12,00	38,33	17,00	9,00
Rata-rata	50,05	24,60	15,38	40,27	16,38	8,83

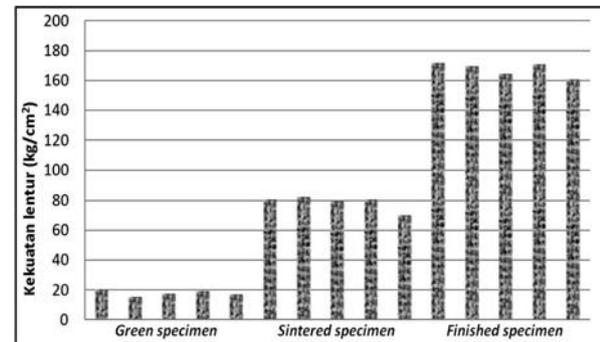


**Gambar 16.** Kesalahan dimensi *green specimen* dan *sintered specimen*

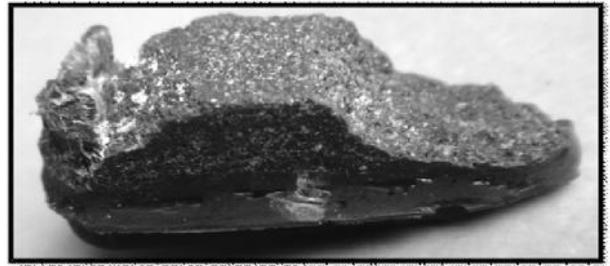
**Tabel 6.** Kekuatan lentur *green specimen*, *sintered specimen*, dan *finished specimen*

No	Kekuatan lentur <i>green specimen</i> (kg/cm <sup>2</sup> )	Kekuatan lentur <i>sintered specimen</i> (kg/cm <sup>2</sup> )	Kekuatan lentur <i>finished specimen</i> (kg/cm <sup>2</sup> )
1.	20,7	80,8	171,5
2.	15,4	82,3	169,4
3.	17,6	79,2	164,3
4.	19,4	80,6	170,9
5.	17,2	69,6	160,5

Proses pembuatan *slider plastic* menggunakan mesin injeksi plastik, *insert mold* mampu bertahan tanpa rusak setelah menghasilkan produk sebanyak 120 buah. Bentuk kerusakan *insert mold* adalah seperti ditunjukkan pada Gambar 18.



**Gambar 17.** Kekuatan lentur *green specimen*, *sintered specimen*, dan *finished specimen*.



**Gambar 18.** Bentuk kerusakan *insert mold*.

#### 4.2. Pembahasan

Kesalahan dimensi terbesar, baik pada *green specimen* maupun pada *sintered specimen* terjadi pada arah-X kemudian diikuti pada arah-Y dan arah-Z. Hal ini disebabkan karena pada arah-X terjadi aliran panas yang lebih besar seperti ditunjukkan pada Gambar 3. Pengulangan pemanasan oleh pemanas menyebabkan akumulasi panas yang jauh lebih besar pada arah-X. *Secondary sintering* terjadi pada semua arah. Kesalahan dimensi arah-X pada *green specimen* sekitar 50% sedangkan pada *sintered specimen* sekitar 40%. Berkurangnya harga kesalahan dimensi terjadi karena adanya penyusutan lebih besar akibat penguapan akrilik dan adanya proses *sintering* pada kaca dan aluminium.

Kekuatan lentur *sintered specimen* jauh lebih besar dari pada *green specimen*, hal ini terjadi karena ikatan antar butir pada *green specimen* adalah ikatan akrilik, sedangkan pada *sintered specimen* adalah ikatan antar kaca dan aluminium. Lapisan alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) yang selalu terjadi pada permukaan butir aluminium mampu bereaksi dengan kaca sehingga terjadi ikatan yang kuat antar butir. *Finished specimen* mempunyai kekuatan lentur yang lebih tinggi dari pada *sintered specimen* karena adanya resin epoksi yang mengisi pori-pori yang terdapat sebelumnya. Kekuatan lentur *green specimen*, *sintered specimen*, dan *finished specimen* adalah 20, 80, dan 170 kg/cm<sup>2</sup>.

*Insert mold* mengalami kombinasi beban geser dan lentur. Kekuatan *insert mold* terutama kekuatannya mengalami penurunan akibat temperatur plastik (jenis HDPE) pada saat pembuatan benda dengan proses injeksi plastik. HDPE (*high density polyethylene*) mempunyai temperatur cair sekitar 140°C-200°C (Mark, 1999).

## 5. Kesimpulan

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan sebagai berikut:

- a. Komposit dengan campuran serbuk aluminium, serbuk kaca, dan serbuk akrilik dengan perbandingan volume masing-masing 1:1:1 dapat dibuat dengan menggunakan proses *indirect layer manufacturing*.
- b. Kekuatan lentur *green specimen*, *sintered specimen*, dan *finished specimen* masing-masing adalah 20 kg/cm<sup>2</sup>, 80 kg/cm<sup>2</sup>, dan 170 kg/cm<sup>2</sup>.
- c. Kesalahan dimensi terbesar terjadi pada arah-X. Kesalahan dimensi arah-X pada *green specimen* dan *sintered specimen* masing-masing adalah 50% dan 40%.
- d. *Insert mold* dapat dibuat dari komposit bahan baku campuran serbuk aluminium, serbuk kaca, dan serbuk akrilik dengan perbandingan volume masing-masing 1:1:1, menggunakan proses *indirect layer manufacturing*. *Insert mold* mampu digunakan sampai menghasilkan produk plastik (jenis produk: *slider plastic*) sebanyak 120 buah.

## Daftar Pustaka

- ASTM Designation D 790 – 07, 2007, *Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials*, Published October 2007.
- Bernardo, E., Scarinci, G., Hreglich, S., 2003, Mechanical properties of metal-particulate lead-silicate glass matrix composites obtained by means of powder technology, *Journal of the European Ceramic Society* 23 (2003), pp.1819-1827.
- Darmo, S., Tontowi, A.E., Suyitno, Mahardika, M., 2013, Aluminium-Particulate Glass Matrix Composites with Acrylic as a Binder

for a Plastic Injection Mold Material, *International Journal of Materials Science*, ISSN 0973-4589 Vol. 8, No.2, pp. 57-78.

- Darmo, S., 2013, Kekuatan Lentur Komposit Matriks Kaca Limbah dengan Penguat Partikel Aluminium Limbah yang Dibuat dengan Metode Tanpa Penekanan, *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Terapan*, ISBN 978-602-14066-2-5 Vol. 1B, No.1, pp. 367-374.
- Kim, K.S., Shim, S.H., Kim, S., Yoon, S.O., 2010, Sintering Behaviour and Dielectric Properties of Ceramic/Glass Composites Using Lead Borosilicate Glass, *Journal of Ceramic Processing Research*, Vol. 11, No.1, pp. 35-39.
- Mark, J.E., 1999, *Polymer Data Handbook*, Oxford University Press, Inc., pp.495.
- Montazerian, M., Alizadeh, P., Yekta, B.E., 2008, Pressureless sintering and mechanical properties of mica glass-ceramic/Y-PSZ composite, *Journal of the European Ceramic Society* 28 (2008), pp.2687-2692.
- Rajesh, S., Jantunen, H., Letz, M., Wilhelm, S.P., 2012, Low Temperature Sintering and Dielectric Properties of Alumina-Filled Glass Composites for LTCC Applications, *International Journal of Applied Ceramic Technology, Int. J. Appl. Ceram. Technol.*, 9[1] 52-59 (2012). DOI:10.1111/j.1744-7402.2011.02684.x.
- Wahyudi, R.A., 2010, Design Konsep dan Pengujian *Scanning Heater* dan Sistem Kendali pada Mesin *Selective Heater Melting* (SHM), *Tugas Akhir Teknik Mesin dan Industri*, UGM, Yogyakarta
- Yan, C.Z., Shi, Y.S., Yang, J.S., Liu J.H., 2009, Preparation and Selective Laser Sintering of Nylon-Coated Metal Powders for The Indirect SLS Process, *Rapid Prototyping Journal*, volume 15, number 5, Emerald Group Publishing Limited, ISSN: 1355-2546, pp. 355-360.