



**PENGARUH *TEMPERATURE*, *HOLDING TIME*, DAN
PENAMBAHAN Sn TERHADAP DENSITAS Al-PP METAL
INJECTION MOULDING YANG DIPROSES *SINTERING***

SKRIPSI

Oleh

Wardatul Jannah
NIM 161910101043

**PROGAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2020**



**PENGARUH *TEMPERATURE*, *HOLDING TIME*, DAN
PENAMBAHAN Sn TERHADAP DENSITAS Al-PP METAL
INJECTION MOULDING YANG DIPROSES *SINTERING***

SKRIPSI

Diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Mesin (S1) dan mencapai gelar
Sarjana Teknik.

Oleh
Wardatul Jannah
NIM 161910101043

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2020**

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk :

1. Ayahanda Abdur Rakhem dan Ibunda Warninda orang tuaku yang tercinta. Terimakasih untuk semuanya yang mungkin tak dapat aku balas.
2. Masku Wildan Shalihy yang tercinta. Terimakasih untuk semua semangat serta do'anya.
3. Nenekku dan Keluargaku yang selalu menyemangati juga mendo'akanku.
4. Guru-guru sejak TK hingga SMA, dosen-dosen jurusan Teknik Mesin yang telah membimbing dengan sabar dan memberikan ilmu yang bermanfaat.
5. Almamater Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

MOTTO

“Berpikirlah positif, tak peduli seberapa keras kehidupan yang kamu jalani.

Berikanlah banyak meskipun menerima sedikit”

(Ali bin abi Thalib)

atau

“Banyak hal yang bisa menjatuhkanmu. Tapi satu-satunya hal yang benar-benar dapat menjatuhkanmu adalah sikapmu sendiri”

(R.A. Kartini)



PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Wardatul Jannah

NIM : 161910101043

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “**Pengaruh Temperature, Holding Time, Dan Penambahan Sn Terhadap Densitas Al-PP Metal Injection Moulding Yang Diproses Sintering**” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 01 September 2020

Yang menyatakan,

Wardatul Jannah

161910101043

SKRIPSI

**PENGARUH *TEMPERATURE*, *HOLDING TIME*, DAN
PENAMBAHAN Sn TERHADAP DENSITAS Al-PP METAL
INJECTION MOULDING YANG DIPROSES *SINTERING***

Oleh

Wardatul Jannah

161910101043

Pembimbing:

Dosen Pembimbing Utama : Ir. Danang Yudistiro, S.T.,M.T

Dosen Pembimbing Anggota : Dr. Mochammad Asrofi, S.T.

PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul “Pengaruh *Temperature, Holding Time*, Dan Penambahan Sn Terhadap Densitas Al-PP *Metal Injection Moulding* Yang Diproses *Sintering*” karya Wardatul Jannah telah diuji dan disahkan pada:

Hari, tanggal : 01 September 2020

Tempat : Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin

Tim Pembimbing

Pembimbing Utama,

Pembimbing Anggota,

Ir. Danang Yudistiro, S.T., M.T.

Dr. Mochammad Asrofi, S.T.

NIP 197902072015041001

NIP 760019035

Tim Penguji

Penguji I,

Penguji II,

Ir. Mahros Darsin, S.T., M.Sc., Ph.D.

Dr. Muh. Nurkoyim Kustanto, S.T., M.T

NIP 197003221995011001

NIP 197902072015041001

Mengesahkan

Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,

Dr. Ir. Triwahju Hardianto, S.T., M.T.

NIP. 197008261997021001

RINGKASAN

PENGARUH *TEMPERATURE*, *HOLDING TIME*, DAN PENAMBAHAN Sn TERHADAP DENSITAS Al-PP METAL INJECTION MOULDING YANG DIPROSES SINTERING

Wardatul Jannah, 161910101043; 2020; 47 halaman; Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember.

Metal Injection molding (MIM) merupakan proses pembentukan *net-shape* atau *near-net-shape* dengan biaya produksi lebih rendah dan tingkat kepresisiannya lebih tinggi dibandingkan teknologi pembentukan lainnya. MIM adalah teknik pembentukan logam yang menggabungkan metalurgi serbuk dengan *plastic injection moulding*. Dalam proses MIM ada 4 langkah pengerjaan yaitu *mixing*, *injection*, *debinding*, dan *sintering*.

Sintering merupakan proses akhir dari MIM yaitu pemanasan *brown part* dalam atmosfer gas pada suhu dibawah titik leleh logam, dimana partikel-partikel yang terpisah saling menyatu sehingga pori-pori akan mengecil dan meningkatkan kekuatan dari serbuk logam. Atmosfer *sintering* yang digunakan bergantung pada logam yang dipanaskan (Schlieper, 2013).

Penelitian bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi parameter *temperature*, *holding time*, dan variasi jumlah penambahan Sn terhadap densitas produk Al-PP pada proses *sintering Metal Injection moulding*. Dengan menggunakan bahan dasar serbuk Aluminium (Al) 45%-wt, 25%-wt plastik jenis PP (*polypropylene*) berupa biji plastik, 28%-wt *paraffin wax* (PW), dan 2%-wt *stearic acid* (SA), juga ada variasi penambahan serbuk timah (Sn).

Hasil penelitian yang diperoleh yaitu variasi penambahan Sn sangat berpengaruh signifikan terhadap densitas hasil proses *sintering*. Hal ini sesuai dengan yang dikemukakan oleh Z.Y. Liu, *et.al* (2008). Dimana semakin besar penambahan

Sn menyebabkan nilai densitasnya semakin naik, Yang mana kondisi ini dapat dilihat pada perhitungan statistik dengan nilai persen kontribusi sebesar 47%.

Parameter *holding time* merupakan faktor kendali yang juga mempengaruhi densitas dari hasil *sintering*. Tetapi parameter ini tidak berpengaruh signifikan terhadap densitas hasil proses *sintering* dengan nilai persen kontribusi sebesar 3%.

Variasi parameter paling optimum pada proses *sintering metal injection molding* terhadap densitas produk Al-PP terjadi pada parameter variasi Sn pada level 3 dengan penambahan 2% Sn, *Temperature* pada level 3 dengan 650°C, dan *holding time* pada level 3 selama 3 jam.

SUMMARY

THE INFLUENCE OF TEMPERATURE, HOLDING TIME AND THE ADDITION OF Sn TO THE DENSITY OF Al-PP METAL INJECTION MOLDING PROCESSED BY SINTERING

Wardatul Jannah, 161910101043; 2020; 47 pages; Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Jember.

Metal injection molding (MIM) is a net-shape or forming process near-net-shape with lower production costs and higher precision than other forming technologies. MIM is ordinarily a metal forming that combines powder metallurgy with plastic injection molding. In the MIM process, there are 4 working steps, namely mixing, injection, debinding, and sintering.

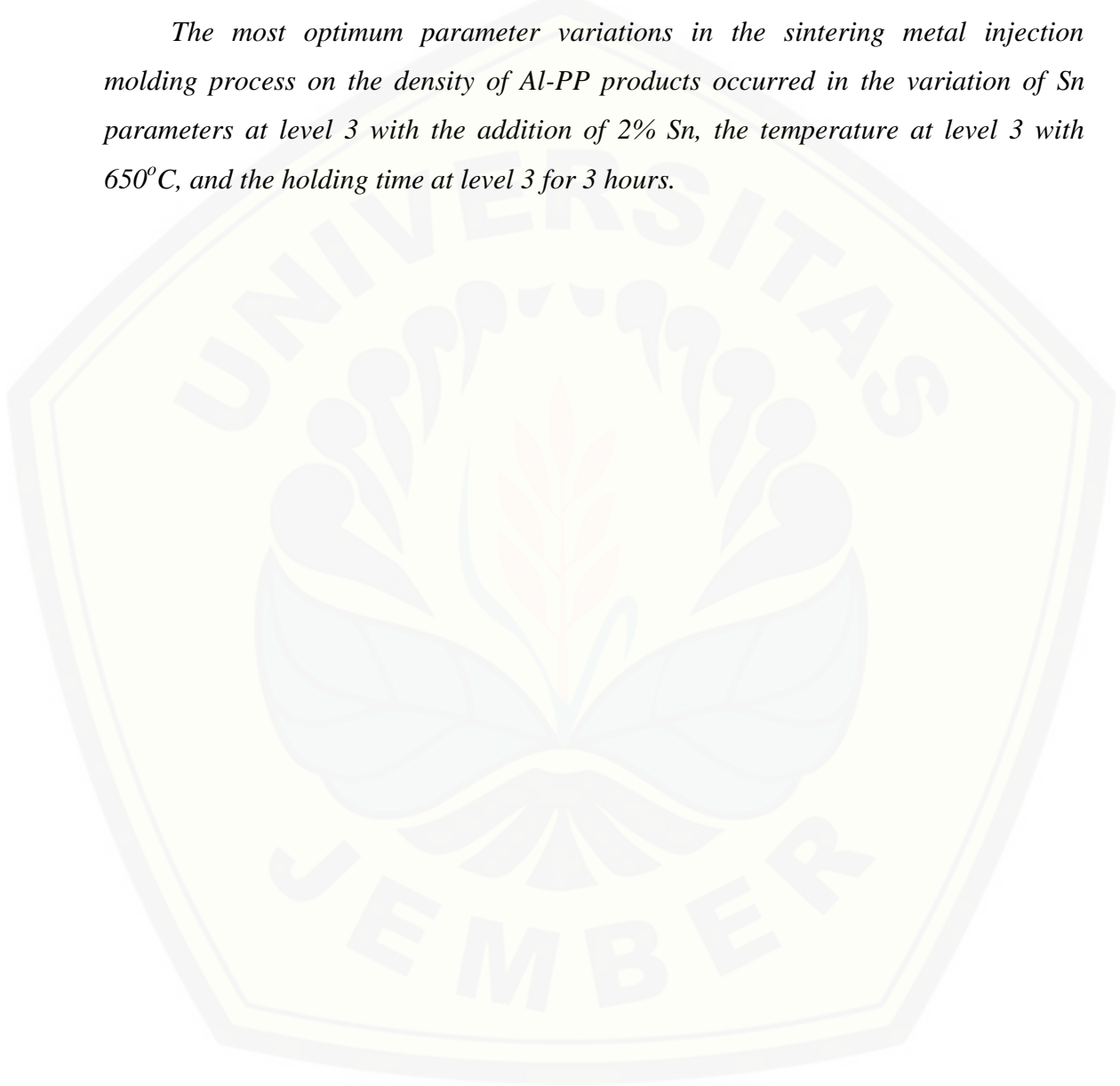
The sintering is the final process of MIM, namely heating the brown part in a gaseous atmosphere at a temperature below the melting point of the metal, where the separated particles stick together so that the pores will shrink and increase the strength of the metal powder. The atmosphere of sintering betted on the metal being heated (Schlieper, 2013).

This study determined the effect of various parameters such as the temperature, the holding time and variations in the amount of added Sn on the density of Al-PP products in the process of sintering metal injection molding. In addition, it was using the basic ingredients of 45% -wt Aluminum (Al) powder, 25% -wt PP (polypropylene) in the form of plastic pellets, 28% -wt paraffin wax (PW), and 2% -wt stearic acid (SA), as well there are variations in the addition of tin powder (Sn).

In sum, the result of this research was that the variation of the addition of Sn has a significant effect on the density of the process sintering. Accordingly, this was stated by ZY Liu, et.al (2008). Consequently, the more addition of Sn caused the density value to increase, which this condition can be seen in statistical calculations with a percentage contribution value of 47%.

The holding time was a controlling factor which also affects the density of the sintering. Nonetheless, this parameter did not have a significant effect on the density of the sintering with a percentage contribution value of 3%.

The most optimum parameter variations in the sintering metal injection molding process on the density of Al-PP products occurred in the variation of Sn parameters at level 3 with the addition of 2% Sn, the temperature at level 3 with 650°C, and the holding time at level 3 for 3 hours.



PRAKATA

Puji syukur kehadirat Alla SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “PENGARUH *TEMPERATURE, HOLDING TIME, DAN PENAMBAHAN Sn TERHADAP DENSITAS Al-PP METAL INJECTION MOULDING YANG DIPROSES SINTERING*”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Tekin, Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terimakasih kepada:

1. Kedua orang tua saya, ayahanda Abdur Rakhem dan ibunda Warninda yang selalu mendukung dan mendo'akan disetiap langkah perjalananku;
2. Masku Wildan Shalihy yang selalu mendukung dan mendo'akan disetiap langkah perjalananku;
3. Seluruh keluarga yang senantiasa memberikan semangat dan do'a untuk saya;
4. Bapak Ir. Danang Yudistiro, S.T.,M.T selaku Dosen Pembimbing Akademik Jurusan Teknik Mesin yang telah membimbing penulis selama menjadi mahasiswa;
5. Bapak Ir. Danang Yudistiro, S.T.,M.T selaku Dosen Pembimbing Utama, Bapak Dr. Mochammad Asrofi, S.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang penuh kesabaran membimbing, memberi arahan, dorongan, motivasi, meluangkan waktu, pikiran, perhatian serta saran kepada penulis sehingga penyusunan skripsi dapat terlaksana dengan baik;
6. Bapak Ir. Mahros Darsin, S.T., M.Sc., Ph.D. selaku Dosen Penguji 1, Bapak Dr. Muh. Nurkoyim Kustanto, S.T., selaku Dosen Penguji 2, yang telah memberikan kritik dan saran dalam penyusunan skripsi ini;
7. Teman-Temanku seperjuangan Teknik Mesin 2016 yang telah berjuang bersama dan yang selalu memberi saran juga kritik dalam menyelesaikan study ini;

8. Teman-teman pembedangan Manufaktur 2016 yang telah membantu selama perkuliahan.
9. Saudaraku Rendi, Atiqi, dan Wafir yang telah menyemangati dan membantu selama perkuliahan juga penggarapan skripsi ini.
10. Saudaraku Fuji Kurniawati yang selalu sabar menemani dalam suka maupun duka selama ini;
11. Saudaraku Cecan Strong kaum minoritas teknik mesin 2016 yang telah menjadi penyemangat juga tempat mengeluh;
12. Sahabatku Kontrakan Asoy, Mahasiswa Sumenep 16, terutama Ully, Ocha, Devita, Rina yang selama ini telah mendukung dan memberi saran dalam pengerjaan skripsi ini;

Penulis menyadari dalam penyusunan skripsi ini masih jauh dari kata sempurna, sehingga segala kritik dan saran yang membangun, dapat diterima oleh penulis. Harapan penulis supaya skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis maupun pembaca.

Jember, 01 September 2020

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
PERSEMBAHAN	iii
MOTTO	iv
PERNYATAAN	v
PENGESAHAN	vii
RINGKASAN	viii
SUMMARY	x
PRAKATA	xii
DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR GAMBAR	xviii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat.....	3
1.6 Hipotesa.....	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 <i>Metal Injection moulding</i>	5
2.2 <i>Feedstock</i>	6
2.2.1. Aluminium (Al)	6

2.2.2. Timah (Sn).....	6
2.2.3. <i>Binder</i>	7
2.3 <i>Mixing</i>	8
2.4 Proses <i>Injection Moulding</i>	9
2.4.1. Sistem <i>injection</i>	10
2.4.2. Sistem <i>Clamping</i>	11
2.4.3. Sistem <i>Moulding</i>	11
2.5 Proses <i>Debinding</i>	11
2.5.1. <i>Solvent debinding</i>	12
2.5.2. <i>Thermal debinding</i>	12
2.5.3. <i>Catalytic debinding</i>	13
2.6 Proses <i>Sintering</i>	13
2.7 Densitas	14
2.8 Metode Taguchi.....	15
2.8.1. Desain Eksperimen Taguchi.....	16
2.8.2. Interpretasi Hasil Eksperimen	21
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	24
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	24
3.2 Alat dan Bahan	24
3.2.1. Alat	24
3.2.2. Bahan.....	26
3.3 Variabel Penelitian	27
3.3.1. Variabel Bebas	27
3.3.2. Variabel Respon.....	27
3.3.3. Variabel Konstan	28

3.4	Rancangan Percobaan.....	28
3.4.1.	Pengaturan Variabel pada Proses <i>Sintering</i>	28
3.4.2.	Pemilihan Matriks <i>Orthogonal</i>	28
3.4.3.	Analisis Variansi dan Persen Kontribusi	29
3.5	Langkah-langkah Percobaan	30
3.6	Pengambilan Data.....	31
3.7	Diagram Alir	32
BAB 4.	PEMBAHASAN.....	34
4.1	Data Hasil Eksperimen	34
4.2	Perhitungan S/N rasio.....	35
4.3	Pengujian Asumsi Residual	36
4.4	Hasil Optimasi Data	38
4.5	Pengujian Analisis of Varian (ANOVA).....	40
4.6	Prediksi Respon Optimum.....	43
4.7	Pembahasan Pengaruh Parameter.....	44
BAB 5.	PENUTUP	47
5.1	Kesimpulan.....	47
5.2	Saran	47
DAFTAR PUSTAKA	48	
LAMPIRAN.....	51	

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Sifat fisika dan kimia Aluminium.....	6
Tabel 2.2 Sistem <i>binder</i> untuk MIM.....	7
Tabel 2.3 Spesifikasi PP.....	8
Tabel 2.4 Nilai densitas dari beberapa zat	15
Tabel 2.5 Matriks <i>Orthogonal</i> $L_9(3^2)$	18
Tabel 3.1 Variabel yang digunakan dalam proses <i>sintering</i>	28
Tabel 3.2 Jumlah derajat kebebasan parameter kendali.....	28
Tabel 3.3 Matriks <i>Orthogonal</i> L_9	29
Tabel 3.4 Pengolahan Data Uji Coba.....	29
Tabel 3.5 Tabel Analisis Penggabungan.....	30
Tabel 4.1 Data hasil eksperimen	34
Tabel 4.2 Data persentase densitas	35
Tabel 4.3 Data perhitungan S/N rasio	36
Tabel 4.4 Respon rata-rata nilai S/N rasio pada setiap level parameter.....	39
Tabel 4.5 Hasil ANOVA dan kontribusi parameter dengan perhitungan S/N rasio	41
Tabel 4.6 Kondisi hipotesa H_0	43

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Proses MIM	5
Gambar 2.2 Penampang <i>injection moulding</i>	9
Gambar 2.3 Skema mesin <i>injection moulding</i>	10
Gambar 2.4 Unit <i>injection</i>	10
Gambar 2.5 Proses <i>Solvent debinding</i>	12
Gambar 2.6 Leher kontak yang terbentuk pada proses <i>sintering</i>	14
Gambar 2.7 Matriks <i>Orthogonal</i>	18
Gambar 3.1 Spesimen uji	26
Gambar 3.2 Diagram alir penelitian	32
Gambar 4.1 Plot ACF.....	37
Gambar 4.2 Plot Uji Homogenitas	37
Gambar 4.3 Plot Uji Distribusi Normal	38
Gambar 4.4 <i>Plot for S/N ratio</i>	39
Gambar 4.5 <i>Plot for means</i>	40
Gambar 4.6 a. bentuk permukaan penambahan 0% Sn. b. bentuk permukaan penambahan 1% Sn.....	45
Gambar 4.7 Diagram kenaikan densitas vs variasi Sn	45
Gambar 4.8 Diagram kenaikan densitas vs <i>Temperature</i>	46

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Metal Injection moulding (MIM) merupakan proses pembentukan *net-shape* atau *near-net-shape* dengan biaya produksi lebih rendah dan tingkat kepresisiannya lebih tinggi dibandingkan teknologi pembentukan lainnya. MIM adalah teknik pembentukan logam yang menggabungkan metalurgi serbuk dengan *plastic injection moulding*. Dalam proses MIM ada 4 langkah pengerjaan: proses *mixing* bubuk logam dicampur dengan *binder* atau pengikat, *injection* yaitu proses pencetakan bahan baku menggunakan mesin *injection moulding*. Produk hasil *injection* biasanya disebut *green part*, *debinding* menghilangkan *binder* atau pengikat dengan *solvent debinding* atau *thermal debinding*. *Sintering* memanaskan *brown part* sampai partikel logam saling mengikat dan meningkatkan kekuatan dari serbuk logam (Ji, C.H. *et al.*, 2001).

Dalam pembuatan *feedstock*, serbuk aluminium dipilih karena memiliki sifat mekanik yang baik, ringan, tahan korosi, dan *low density*. Aluminium biasanya diaplikasikan dalam industri otomotif (Asmawi, 2014). Penambahan timah (Sn) pada aluminium mempunyai manfaat tersendiri saat *sintering* yaitu berfungsi sebagai aktivator untuk pertumbuhan struktur mikro sehingga meningkatkan kekuatan *metal*. Jumlah Sn dapat meningkatkan karakteristik *wetting* dan mengatur pembentukan aluminium nitrida di bawah atmosfer (Ni *et al.*, 2018). Hal tersebut dikarenakan sifat timah yang unggul dalam konduktivitas panas, tahan karat, titik leleh rendah, dan memiliki struktur kristal yang tinggi (Aziz, 2016).

Proses *sintering* merupakan pemanasan *brown part* dalam atmosfer gas pada suhu dibawah titik leleh logam, dimana partikel-partikel yang terpisah saling menyatu sehingga pori-pori akan mengecil dan meningkatkan kekuatan dari serbuk logam. Atmosfer *sintering* yang digunakan bergantung pada logam yang dipanaskan (Schlieper, 2013). Tujuan dilakukannya proses *sintering* yaitu untuk menghilangkan pengikat dan mengurangi massa serbuk logam menjadi produk logam yang kuat sesuai dengan *mold* pada *injection*. Produk hasil *sintering*

mengalami penyusutan sehingga dimensi produk berkurang sesuai dengan serbuk logam dan pengikat yang digunakan.

Densitas atau kerapatan merupakan hasil bagi antara massa per volume. Pada proses *sintering* terjadi proses menyatunya antar partikel yang disebabkan oleh perlakuan *termal*. Dan proses *sintering* mampu meningkatkan densitas, kekuatan (*strength*), dan penyusutan (*shrinkage*) sehingga terjadi penurunan luas partikel yang sangat cepat.

Penelitian yang dilakukan oleh Z.Y. Liu *et al* (2008) mendapatkan kesimpulan bahwa penggunaan blok magnesium pada tungku berguna untuk mengikat oksigen dalam tungku. Penelitian tersebut juga menghasilkan kesimpulan bahwa penambahan 2% berat Sn dan penambahan nitrogen pada proses *sintering* atmosfer sangat membantu dalam proses pembentukan AIN dan juga penambahan butir dengan komposisi serbuk aluminium 62 % volume atau 82,9 % berat, 2 % berat timah (Sn), 3% *stearic acid*, 52% *palm oil wax*, 45% polietilen. Penelitian yang dilakukan oleh Kent D. (2009) dengan komposisi AA6061, 2 % berat Sn, 10 % berat AIN, *binder* (*palm oil wax*, *stearic acid*, polietilen) dan dilakukan proses *sintering* pada suhu 640 °C selama 2 jam dalam nitrogen dihasilkan kerapatan material komposit mencapai 97 %, masing-masing hasil pada powder *injection moulding* 120 MPa tegangan luluh, 260 MPa kekuatan tarik dan 8 % elongasi.

Berdasar pada proses dan mempelajari penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, penelitian ini akan dilakukan dengan menganalisis pengaruh *Temperature*, *holding time*, dan penambahan Sn terhadap densitas pada hasil proses *sintering* MIM. Karena densitas merupakan salah satu faktor untuk mengetahui tingkat keberhasilan dari proses MIM. Semakin baik densitas yang di dapatkan maka produk yang dihasilkan akan semakin kuat (WAHI, A., *et all* 2016). Dalam penelitian ini akan dilakukan analisis dan evaluasi terhadap parameter-parameter (variabel faktor) *metal injection* tersebut dengan menggunakan metode taguchi. Metode Taguchi adalah usaha pengendalian kualitas untuk memperbaiki maupun mempertahankan kualitas produk juga pada

prosesnya. Metode Taguchi merupakan pengendalian kualitas secara *off-line quality control* dengan penggagasnya adalah Genichi Taguchi.

1.2 Rumusan Masalah

Dari pemaparan latar belakang menghasilkan rumusan masalah penelitian, yaitu bagaimana pengaruh variasi parameter *Temperature*, *holding time*, dan penambahan Sn terhadap densitas produk Al-PP pada proses *sintering Metal Injection moulding*.

1.3 Batasan Masalah

Batasan yang diterapkan untuk memudahkan analisa penelitian ini antara lain:

1. Pada proses pendinginan semua spesimen menggunakan *annealing*.
2. Tidak membahas tentang cacat *shrinkage* yang terjadi.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari dilakukannya penelitian ini untuk mengetahui pengaruh variasi parameter *temperature*, *holding time*, dan variasi jumlah penambahan Sn terhadap densitas produk Al-PP pada proses *sintering Metal Injection moulding*.

1.5 Manfaat

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah

1. Dapat mengetahui pengaruh variasi parameter *temperature*, *holding time*, dan jumlah penambahan Sn terhadap densitas hasil pada proses *sintering Metal Injection moulding*.
2. Mengetahui proses pembentukan logam dengan proses *Metal Injection moulding*.

1.6 Hipotesa

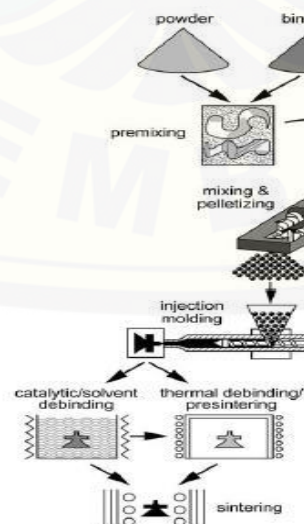
Berdasarkan pengamatan yang didasari pada penelitian-penelitian sebelumnya dapat ditarik sebuah hipotesa awal yaitu, *temperature* dan *holding time*, dan penambahan Sn membantu meningkatkan kepadatan hasil proses *sintering*.



BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Metal Injection moulding*

Metal Injection moulding (MIM) adalah teknologi yang baru dikembangkan dalam pembentukan logam dan paduan menjadi bentuk yang diinginkan. MIM merupakan proses pencampuran serbuk unsur atau paduan dengan pengikat termoplastik. MIM terdiri dari 4 proses yaitu; *mixing*, *injection moulding*, *debinding*, dan *sintering*. *Mixing* adalah pencampuran serbuk logam dengan *binder* yang menghasilkan *feedstock* sebagai bahan baku *injection*. *Feedstock* dipanaskan lalu di *injection* ke *mold* menggunakan mesin *injection moulding*. Hasil dari proses *injection* disebut *green part*. Untuk menghilangkan pengikat, *green part* dipanaskan pada pelarut yang disebut proses *solvent debinding* atau dengan cara dipanaskan yang disebut *thermal debinding* (*brown part*). *Brown part* dipanaskan dibawah *temperature* lebur dari *metal* untuk meyatukan partikel-partikel pada *brown part* sehingga meningkatkan kekuatan pada produk atau memberikan sifat mekanik yang diperlukan (*sintering*) (Brown, 1991). Produk MIM sering diaplikasikan untuk otomotif, alat kesehatan, elektronik, dan kebutuhan militer, dll. Gambar proses MIM dapat dilihat pada Gambar 2.1



Gambar 2.1 Proses MIM (Viridhian & Pujiyanto, 2014)

2.2 Feedstock

2.2.1. Aluminium (Al)

Aluminium merupakan logam yang sering digunakan karena memiliki karakteristik ringan, konduktivitas panas dan listrik yang tinggi, tahan terhadap korosi dalam atmosfer biasa, dan memiliki keuletan yang cukup tinggi. Salah satu kelemahan dari aluminium yaitu memiliki titik lebur yang rendah serta kekuatan dari aluminium murni agak rendah. Tetapi kekuatan itu dapat ditingkatkan yaitu dengan paduan dan proses pemanasan. Dengan pepaduan sifat dapat diperbaiki tetapi seringkali sifat tahan korosi dan keuletannya berkurang. Kegunaan aluminium adalah untuk bahan bangunan, peralatan rumah tangga, mesin penggerak, mesin tenaga/penghasil kalor yang besar untuk pemanas, pembuatan mesin motor, dan kapal terbang. Adapun sifat fisik dari aluminium dapat dilihat pada Tabel 2.1

Tabel 2.1 Sifat fisika dan kimia Aluminium

Sifat-sifat	Kemurnian Al (%)	
	99,996	99,0-99,0-99,996
Massa jenis (20°C)	2,6989	2,71
Titik Cair	660,2	653,657
Panas jenis (cal/g. °C)	0,2226	0,2297
Hantaran Listrik (%)	64,94	59 (Dianil)
Tahanan listrik koefisien <i>Temperature</i> (°C)	0,00429	0,0115
Koefisien pemuaian (20-100%)	23,86 x 10 ⁻⁶	23,5x10 ⁻⁶
Jenis Kristal, konstanta kisi	Fcc, a=4,013 kX	Fcc, a=4,04 kX

Sumber: (Saputra, 2019)

2.2.2. Timah (Sn)

Timah sering ditemukan dalam logam paduan yang digunakan untuk melapisi logam lain agar mencegah terjadinya karat. Timah juga memiliki sifat tahan terhadap udara lembab, tahan terhadap korosi, berat jenis 7,3g/cm³, titik cair 232 °C, dan tahanan jenis 0,15 ohm mm²/m (Sukandarrumidi, 2018).

2.2.3. Binder

Binder merupakan peran penting dalam proses pembuatan komponen dengan MIM. *Binder* adalah campuran dari beberapa polimer yang biasanya terdiri dari *dispersants*, *stabilizerz*, dan *plasticizers*. Tujuan digunakannya *binder* adalah untuk membantu memberikan kekuatan agar membentuk komponen selama dilakukan proses *injection*. *Binder* berguna untuk membantu membentuk dan menguatkan partikel logam sampai proses *sintering*. *Binder* dicampur dengan logam untuk membuat *feedstock* yang selanjutnya akan dilakukan proses *injection* (Enneti, 2019).

Binder harus memiliki karakteristik yang baik dan saling mengikat dengan serbuk logam agar memudahkan dalam proses *debinding* serta ramah lingkungan. Saat ini banyak yang memanfaatkan polimer alami dalam berbagai bidang karena biodegradabilitas dan harga murah, polimer alami sangat cocok menjadi pengganti polimer sintetik dalam proses MIM (Abolhasani & Muhamad, 2010). Tabel 2.2 menunjukkan sistem *binder* yang digunakan untuk MIM.

Tabel 2.2 Sistem *binder* untuk MIM

<i>Binder</i>	Bahan utama	Polimer	Bahan tambahan
Termoplastik	<i>Paraffin/microcrystalline/carnauba/ beeswax/vegetable/ peanutoil/acetanilide/ antipyrine/naphthalene/ PEG</i>	<i>PE, PP, PS, PE-VA, PE-A, PP-A, PMBA-E-VA</i>	<i>Stearic/ oleic acid dan esters thereof, phthalic acid esters</i>
Polyacetal	<i>Polyxymethylene</i>		<i>Proprietary</i>
Gellatin	<i>Water</i>	<i>Methyl cellulose/agar</i>	<i>Glycerine/ boric acid</i>

Sumber : Schlieper et al, 2013

a. Polypropylene (PP)

Polypropylene adalah polimer termoplastik yang mempunyai bentuk struktur yang teratur karena terbuat dari monomer gas polipropilen dengan adanya katalis spesifik. Kelebihan PP yaitu titik lebur tinggi, *tensile strength*, ketahanan abrasi juga tinggi, dan dapat di daur ulang. Kekurangan pada PP

yaitu ringan, mudah rapuh pada suhu rendah. Biasanya PP digunakan untuk peralatan rumah tangga, peralatan kantor, dan komponen elektronik (Pulungan, 2018). Data spesifikasi dari PP dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Spesifikasi PP

Sifat-sifat	Satuan
<i>Temperature</i> leleh ($^{\circ}\text{C}$)	130-170
Massa jenis (g/cm^3)	0,92
Kristalinitas (%)	60
Tg ($^{\circ}\text{C}$)	10
Tm ($^{\circ}\text{C}$)	176
Tegangan Tarik (N/m^2)	30-40
<i>Hardness</i> (HB)	80

Sumber : Aziz, 2019

b. *Paraffin wax*

Paraffin wax biasa disebut dengan lilin *paraffin* yang merupakan hasil samping dari pengolahan minyak bumi. *Paraffin wax* mempunyai titik lebur antara 50°C - 60°C berbentuk bongkahan berwarna putih. Saat dilakukan pembakaran *paraffin wax* tidak menghasilkan banyak asap dan tidak berbau. Untuk meningkatkan titik lebur *paraffin wax* dicampur dengan *stearic acid*.

c. *Stearic acid*

Stearic acid atau asam stearat berbentuk *flake* atau bongkahan berwarna putih bersih. *Stearic acid* mempunyai titik lebur 69°C dan karakteristiknya yaitu keras, berkristal, dan putih bersih. Pencampuran *stearic acid* dan *paraffin wax* membantu untuk menaikkan titik lebur *paraffin wax* (Jusuf, 2010).

2.3 *Mixing*

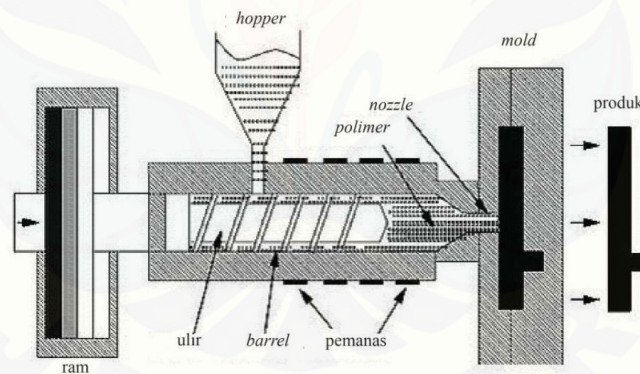
Mixing adalah proses pencampuran serbuk logam dengan *binder* yang kemudian digranulasi menjadi pellet. Campuran serbuk dan *binder* yang dibentuk disebut *feedstock*, yang digunakan sebagai bahan dasar *injection*. Perbandingan jumlah serbuk dan *binder* tergantung dengan jenis *binder*, logam, bentuk dan ukuran serbuk. Parameter yang mempengaruhi proses *mixing* yaitu waktu,

temperature, ukuran serbuk dan bentuk distribusi serbuk, formulasi *binder*, laju geser dan *powder loading* (Afrilinda *et al*, 2017)

2.4 Proses *Injection Moulding*

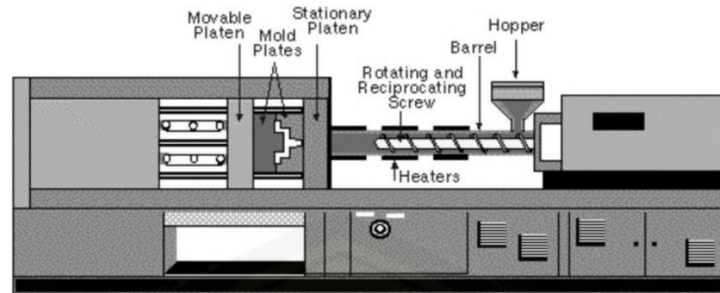
Moulding merupakan proses pencetakan bahan polimer menjadi suatu produk tertentu sesuai dengan yang kita inginkan. Hasil proses *moulding* sering kita temui dalam kehidupan sehari-hari seperti botol plastik, *casing* komputer, dll. Adapun jenis proses *moulding* yaitu *moulding* tiup, *moulding* kompresi, *resin transfer moulding* (RTM), *vacuum forming*, dan SCRIP, dan *injection moulding*.

Injection moulding adalah proses pembentukan plastik yang sering dilakukan. Yaitu diawali dengan dituangkannya pellet ke dalam hopper, selanjutnya pellet dipanaskan dalam *Barrel* sampai meleleh dan ditransfer ke ujung menggunakan ulir kedalam cetakan (*mold*). Benda dibiarkan terlebih dahulu sampai dingin sebelum cetakan dilepas untuk mengeluarkan benda. Gambar 2.2 berikut menunjukkan penampang *injection moulding*



Gambar 2.2 Penampang *injection moulding* (Rochamadi, 2018)

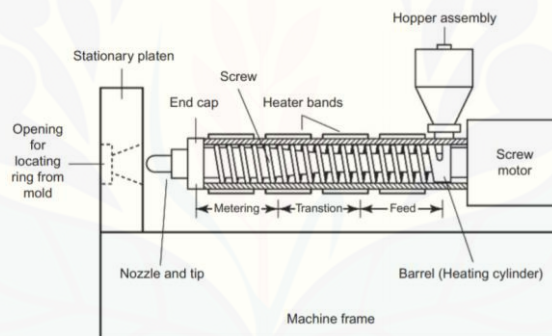
Proses *injection moulding* dibagi menjadi 3 sistem, yaitu sistem *injection*, sistem *moulding*, dan sistem *clamping*. Gambar 2.3 merupakan skema mesin *injection moulding*.



Gambar 2.3 Skema mesin *injection moulding* (Mawardi,2018)

2.4.1. Sistem *injection*

Sistem *injection* mempunyai beberapa fungsi yaitu sebagai tempat melelehkan material plastik, menginjeksi material ke dalam *cavity*, juga menahan tekanan selama pendinginan.



Gambar 2.4 Unit *injection*

Berikut bagian-bagian dari unit *injection* yaitu :

a. *Screw*

Screw berfungsi sebagai pengumpan pellet, mentransfer material plastik dari *hopper* ke *nozzle*, juga melelehkan material plastik, dan sebagai pengaduk material plastik agar pencampuran warna lebih merata. *Screw* berbentuk batang silinder yang berulir dengan pemilihan diameter dan panjang *Screw* bergantung pada rasio perbandingan (L/D) dengan *range* 6 s/d 48.

b. *Check valve*

Check valve berfungsi menjaga aliran plastik yang meleleh supaya tidak kembali pada saat *screw* berhenti berputar.

c. *Barrel*

Barrel adalah batang silinder yang merupakan dudukan *Screw*, dan berfungsi sebagai tempat pelelehan material plastik. Pada *Barrel* terdapat *heater* untuk memanaskan plastik sebelum masuk ke *nozzle*.

d. *Heating zone*

Heating zone berfungsi sebagai pemanas untuk melelehkan material plastik. *Heating* biasanya dipasang pada *Barrel*.

e. *Nozzle*

Nozzle berfungsi menyalurkan plastik yang telah leleh ke dalam cetakan.

2.4.2. Sistem *Clamping*

Clamping unit berfungsi sebagai pemegang serta pengatur gerakan *moulding unit* untuk mencegah terjadinya *flash* selama proses pencetakan. Pada *clamping unit* kita dapat mengatur panjang gerakan *mold* dan *ejector* saat *mold* dibuka. System *clamping* terdiri dari dua jenis mekanisme, yaitu mekanisme *toggle* dan mekanisme hidrolis.

2.4.3. Sistem *Moulding*

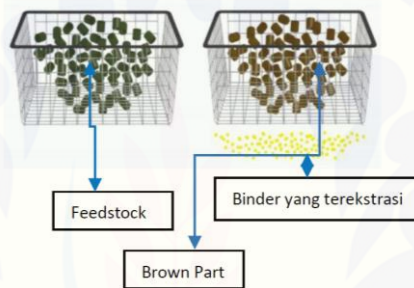
Mold disebut juga sebagai cetakan untuk membentuk suatu produk. *Mold* sendiri terdiri dari dua bagian, yaitu “*core*” dan “*cavity*”. *Cavity* terikat pada *stationary platen* sedangkan *core* terikat pada *moving platen*, yang berfungsi sebagai membuka dan menutup (Mawardi, 2018).

2.5 Proses *Debinding*

Debinding adalah proses pemisahan pengikat dari *feedstock* dari proses *metal injection moulding*. Proses *debinding* dibagi menjadi: *solvent debinding* (secara kimiawi), *thermal debinding* (perlakuan panas), *catalytic debinding*, dan jenis-jenis *debinding* lainnya.

2.5.1. Solvent debinding

Solvent debinding adalah proses penghilangan pengikat dengan cara direndam dalam larutan kimia dengan waktu dan *temperature* tertentu, larutan kimia yang sering digunakan dalam proses ini yaitu *hexana*, *heptana*, dan etanol. Sifat larutan pada proses *debinding* yaitu tidak reaktif pada serbuk logam. Keunggulan dari proses ini larutan dapat digunakan kembali setelah dilakukan destilasi untuk proses selanjutnya. Untuk mengetahui jumlah pengikat yang sudah hilang yaitu dengan menimbang produk sebelum dan sesudah proses *debinding*. Dapat dilihat proses *solvent debinding* pada Gambar 2.5



Gambar 2.5 Proses *Solvent debinding* (Jaman, et al 2018)

Heksana mempunyai rumus kimia C_6H_{14} dan titik didih $65-70^{\circ}C$ yang merupakan senyawa hidrokarbon alkana. Heksana berguna sebagai pelarut yang mempunyai sifat paling ringan dalam mengangkat minyak dan menguap yang terkandung dalam biji-bijian sehingga memudahkan *refluk* (Susanti et al, 2012).

2.5.2. Thermal debinding

Prinsip *thermal debinding* yaitu dengan cara memanaskan *feedstock* pada *temperature* diatas dekomposisi komponen *binder*, dan ditahan dalam jangka waktu tertentu. Setiap komponen *binder* membutuhkan perlakuan panas yang berbeda-beda tergantung dengan komponen penyusunnya. Ukuran *feedstock* juga berpengaruh pada lamanya waktu penahanan pemanasan. *Temperature* yang tinggi dalam proses *thermal debinding* dapat menyebabkan *binder* terdekomposisi menjadi karbon sehingga sulit dikeluarkan pada *feedstock* (Afrilinda et al, 2017).

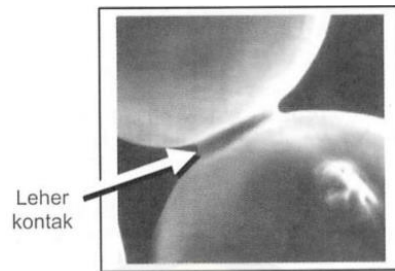
2.5.3. *Catalytic debinding*

Catalytic debinding (CD) hanya bekerja pada pada pengikat tipe *catamold*, yang terdiri dari dua bahan yaitu *polyformaldehyde* dan *polyolefin* dengan menggunakan asam nitrat pada suhu 100 °C - 140 °C. Hasil *catalytic debinding* berupa *formaldehyde* yang bersifat eksplosif adanya air. aliran nitrogen berguna untuk menghilangkan semua oksigen yang terjebak. Rasio uap asam nitrat dengan nitrogen harus dibawah 4% agar tidak menyebabkan ledakan. Meskipun *formaldehyde* beracun tetapi ikut terbakar.

2.6 Proses Sintering

Sintering merupakan proses menyatunya antar partikel yang disebabkan oleh perlakuan *termal* sehingga menyebabkan pengurangan luasan permukaan dan penyusutan volume *pore* juga perubahan geometri *pore*. Proses *sintering* terjadi dibawah *temperature* lelehnya dengan atau tanpa gaya tekan sehingga sifat mekaniknya berubah, pada umumnya mampu meningkatkan sifat mekanik. Pada proses ini terjadi perpindahan atom dalam partikel atau ke partikel lain dalam kondisi *solid*.

Selama proses *sintering* terjadi penurunan luas partikel yang sangat cepat dibandingkan dengan luas permukaan sebelumnya. Luas permukaan dapat diukur menggunakan analisis mikroskop, adsorpsi gas atau teknik permeabilitas gas. Cara lain dalam pengukuran yaitu mengukur rasio antara diameter leher dengan diameter partikel X/D . *Sintering* mampu menyebabkan peningkatan densitas dan kekuatan (*strength*) juga penyusutan (*shrinkage*). Penyusutan yang terjadi selama proses *sintering* mengharuskan suhu dikontrol secara maksimal untuk mempertahankan bentuk. Berikut contoh gambar leher kontak yang terbentuk pada proses *sintering* dapat dilihat pada Gambar 2.5



Gambar 2.6 Leher kontak yang terbentuk pada proses *sintering* (Tantowi, 2008)

Sintering pada proses MIM sama dengan proses metalurgi serbuk yang dilakukan dalam tungku atmosfer terkendali atau vakum pada suhu di bawah titik leleh logam. Karena berguna untuk mengurangi oksida pada permukaan partikel serbuk. Serbuk yang digunakan untuk MIM lebih halus dibandingkan dengan metalurgi serbuk sehingga lebih mudah dalam proses *sintering* karena permukaan partikel yang lebih tinggi.

2.7 Densitas

Densitas atau kerapatan suatu benda yang merupakan hasil bagi antara massa per volume. Densitas berlaku pada zat cair, padat, maupun gas. Besarnya densitas padatan > densitas cair > densitas gas. Hubungan antara densitas dan *temperature* saat material dipanaskan molekulnya akan mengalami kenaikan energi kinetiknya, sehingga menyebabkan ekspansi *termal* ketika dipanaskan. Densitas dapat dilihat pada persamaan 2.1

$$\rho = \frac{m}{v} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana:

ρ = Densitas (kg m^{-3})

m = massa benda (kg)

v = volume benda (m^3)

Satuan dari densitas bergantung pada satuan massa zat dan satuan volume. Satuan densitas dalam SI adalah g/cm^3 (CGS) dan kg/m^3 (MKS). Berikut nilai densitas dari beberapa zat, pada Table 2.4. dibawah ini.

Tabel 2.4 Nilai densitas dari beberapa zat

Nama Zat	ρ (g/cm ³)	ρ (kg/cm ³)
Platina	21,5	21.450
Emas	19,3	19.320
Timbal	11,3	11.344
Perak	10,5	10.500
Tembaga	8,9	8.920
Kuningan	8,6	8.560
Besi	7,8	7.800
Alumunium	2,7	2.700
Merkuri (air raksa)	13,6	13.600
Gliserin	1,26	1.260
Air Laut	1,03	1.025
Air (4 °C)	1,00	1.000
Es	0,92	917
Bensin	0,7	700
Karbon Dioksida	0,0002	0,2

Sumber : Mundilarto & Istiyono, 2007

Untuk mengukur densitas suatu benda dapat menggunakan hukum *Archimedes* yang menyatakan bahwa apabila sebuah benda dicelupkan sebagian atau seluruhnya ke dalam fluida, gaya angkat dari sekitar fluida bekerja pada benda tersebut.

2.8 Metode Taguchi

Pada tahun 1980-an Dr. Genichi Taguchi memberi gagasan mengenai *quality engineering* yang telah digunakan beberapa tahun di Jepang, yaitu tentang desain eksperimen yang telah diperkenalkan di dunia barat. Tujuan dari *quality engineering* ini yaitu untuk merancang ke dalam setiap produk dan proses yang sesuai. Usaha peningkatan kualitas sering disebut sebagai metode *off-line quality control*.

Metode Taguchi merupakan usaha untuk meningkatkan kualitas suatu produk agar menghasilkan produk yang lebih baik. Metode Taguchi bertujuan untuk mengoptimalkan desain produk dan prosesnya sehingga hasil akhir sesuai dengan target dan mempunyai nilai variabilitas yang minimum. Tiga tahapan

metode Taguchi atau yang dikenal dengan metode perancangan terintegasi, sebagai berikut:

- a. Perancangan Sistem (*System Design*)
- b. Perancangan Parameter (*Parameter Design*)
- c. Perancangan Toleransi (*Tolerance Design*)

2.8.1. Desain Eksperimen Taguchi

Eksperimen Taguchi dibagi menjadi 3 proses utama, yang mencakup semua pendekatan eksperimen, yaitu perencanaan eksperimen, pelaksanaan eksperimen, dan analisis eksperimen.

a. Perencanaan Eksperimen

Perencanaan adalah pemilihan faktor dan level faktor pada sebuah eksperimen. Berikut adalah tahapan perencanaan eksperimen pada metode taguchi (Andriani, 2017).

1) Perumusan Masalah

Perumusan masalah merupakan hal utama yang akan diteliti sehingga harus dilakukan dengan spesifik dan jelas secara teknik supaya dapat digunakan dalam eksperimen yang akan dilaksanakan.

2) Tujuan Eksperimen

Tujuan eksperimen yaitu untuk menjawab rumusan masalah sebelumnya dengan mencari sebab dari akibat yang akan diteliti.

3) Penentuan Variabel Respon

Variabel respon merupakan variabel yang perubahannya tergantung pada variabel-variabel lain sehingga disebut juga variabel tak bebas.

4) Pengidentifikasi Variabel Proses

Variabel proses adalah variabel yang tidak bergantung pada variabel lain. Pada tahap ini, akan ditentukan pengaruh variabel yang akan diselidiki terhadap variabel respon. Pada penelitian ini tidak semua variabel yang berpengaruh akan diselidiki. Sehingga penelitian dapat dilaksanakan secara efektif dan efisien.

5) Pemisahan Variabel Proses dan Variabel Gangguan

Pada percobaan yang menggunakan metode Taguchi, variabel proses dan variabel gangguan mempunyai pengaruh yang berbeda sehingga perlu dilakukannya identifikasi. Variabel proses merupakan variabel yang nilainya mampu dikendalikan, sedangkan variabel gangguan atau disebut juga *factor noise* merupakan variabel yang nilainya tidak bisa diatur.

6) Penentuan Jumlah dan Nilai Variabel Proses

Penentuan jumlah level dapat berpengaruh terhadap hasil dari penelitian. Semakin banyak level maka hasil penelitian yang akan dilakukan semakin akurat, tetapi biaya yang dikeluarkan semakin banyak.

7) Perhitungan Derajat Kebebasan

Derajat kebebasan merupakan jumlah data relatif yang diperlukan untuk menghitung jumlah minimum percobaan untuk meneliti faktor yang diteliti.

Berikut persamaan derajat kebebasan dari matriks *orthogonal*:

a) Untuk faktor utama, misal faktor utama A dan B:

$$V_A = (\text{jumlah level faktor A}) - 1 \dots\dots\dots (2.2)$$

$$= k_{A.1}$$

$$V_B = (\text{jumlah level factor B}) - 1 \dots\dots\dots (2.3)$$

$$= k_{B.1}$$

b) Untuk interaksi, misal interaksi A dan B

$$V_{AxB} = (k_{A.1})(k_{B.1}) \dots\dots\dots (2.4)$$

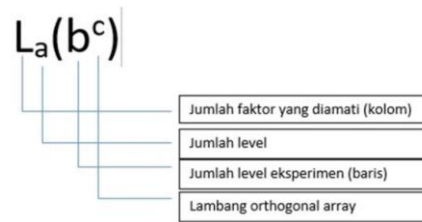
c) Nilai derajat bebas total

$$(k_{A.1})+(k_{B.1})+(k_{A.1})(k_{B.1}) \dots\dots\dots (2.5)$$

Tabel *Orthogonal Arrays* yang terpilih harus memiliki jumlah baris minimum yang tidak boleh kurang dari jumlah derajat bebas totalnya.

8) Pemilihan Matriks *Orthogonal*

Dalam menentukan matriks *orthogonal* yang sesuai dapat ditentukan dari jumlah derajat kebebasan oleh jumlah variabel proses dan jumlah levelnya. Matriks *orthogonal* bertujuan untuk mengevaluasi sejumlah variabel proses dan jumlah percobaan yang minimum. Matriks *orthogonal* dapat dilambangkan dengan:

Gambar 2.7 Matriks *Orthogonal*

Dimana:

L : jumlah faktor yang diamati (kolom)

a : jumlah level

b : banyak level percobaan (baris)

c : banyaknya factor

Orthogonal array (OA) adalah bagian bagian dari *fractional factorial experiment* (FEE) yang menggunakan sebagian dari kondisi total dari percobaan faktorial penuh. Matriks *orthogonal* 2 level terdiri dari $L_4(2^c)$, $L_8(2^c)$, $L_{12}(2^c)$, $L_{16}(2^c)$, $L_{32}(2^c)$, $L_{62}(2^c)$. Sedangkan untuk matriks *orthogonal* standar dengan 3 level yaitu $L_9(3^c)$, $L_{27}(3^c)$, $L_{81}(3^c)$. berikut salah satu contoh matriks *orthogonal* $L_9(3^2)$ ditunjukkan pada Tabel 2.5

Tabel 2.5 Matriks *Orthogonal* $L_9(3^2)$

Matriks <i>Orthogonal</i> $L_9(3^2)$		
Eksperimen	1	2
1	1	1
2	1	2
3	1	3
4	2	1
5	2	2
6	2	3
7	3	1
8	3	2
9	3	3

Sumber : Soejanto, 2009

b. Tahap Pelaksanaan

Pelaksanaan eksperimen terdiri dari dua, yaitu penentuan jumlah replikasi dan randomisasi eksperimen. Replikasi merupakan suatu percobaan pada kondisi yang sama agar memperoleh ketelitian yang lebih tinggi dengan cara melakukan pengulangan kembali. Sedangkan randomisasi bertujuan untuk meratakan pengaruh dari variabel-variabel yang tidak bisa dikendalikan pada semua unit eksperimen dengan cara melakukan pengacakan percobaan.

c. Tahap Analisa

Pada tahap analisis ini dilakukan pengumpulan juga pengolahan data, dengan cara mengumpulkan data, pengaturan data, perhitungan dan penyajian data sesuai dengan suatu eksperimen yang dipilih. Selain itu juga dilakukan perhitungan dan pengujian data menggunakan statistik seperti analisis varians, Uji F, dan rasio S/N pada data hasil eksperimen:

1) Analisis Varians

Analisis Varians merupakan teknik pengolahan data dengan cara menganalisis data hasil percobaan yang disusun secara statistik. Teknik penganalisaan dalam analisis varian ini dengan menguraikan semua (total) varians atas semua bagian yang diteliti. Analisis varians pada suatu matriks *orthogonal* dilakukan berdasar pada jumlah kuadrat oleh masing-masing kolom. Analisis varians dua arah digunakan untuk data eksperimen yang tersusun dari dua faktor atau lebih juga dua level atau lebih. Analisis varians terdiri dari perhitungan:

a) S_T – Jumlah Kuadrat Total

Jumlah kuadrat total sebagai berikut:

$$SS_T = \sum_{i=1}^N y^2 \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana :

N = Jumlah percobaan

y = data yang diperoleh dari percobaan

b) S_A – Jumlah Kuadrat factor A

$$SS_A = \left[\sum_{i=1}^{KA} \left(\frac{Ai^2}{nAi} \right) \right] - \frac{T^2}{N} \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana :

A_i : level ke i faktor A

n_{Ai} : jumlah percobaan ke i pada faktor A

c) S_{AxB} – Jumlah interaksi AxB

Menggunakan cara yang sama, jumlah kuadrat interaksi AxB seperti berikut:

$$S_{AxB} = \frac{[Total\ AxB1]^2}{n1} + \frac{[Total\ AxB2]^2}{n2} - \frac{[Total\ AxB]^2}{n1+n2} \dots\dots\dots (2.8)$$

d) SS_e – Total Kuadrat *error*

Total kuadrat *error* seperti berikut:

$$SS_T = SS_A + SS_B + SS_{AxB} + SS_e$$

$$SS_e = SS_T - SS_A - SS_B - SS_{AxB}$$

2) Uji F

Uji hipotesis F dikerjakan dengan cara membandingkan variansi penyebab masing-masing faktor dengan variansi *error*. Variansi *error* merupakan variansi pada tiap individu dalam pengamatan yang terjadi karena faktor yang tidak bisa dikendalikan. Pada hal ini:

$$F_{\text{sumber}} = \frac{\text{variansi perlakuan} + \text{variansi error}}{\text{variansi error}} \dots\dots\dots (2.9)$$

Hipotesis pengujian pada suatu percobaan seperti berikut:

H_0 : tidak terpengaruh pada perlakuan, sehingga $\mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_j = \mu_k$

H_1 : terpengaruh pada perlakuan, sehingga nilai μ_1 tidak sama.

Jika nilai $F_{\text{hitung}} < F_{\text{tabel}}$ maka hipotesis H_0 dibenarkan artinya tidak ada perlakuan. Dan apabila nilai $F_{\text{hitung}} > F_{\text{tabel}}$ maka hipotesis H_0 ditolak artinya ada perbedaan perlakuan.

3) Rasio S/N

Rasio S/N (Rasio *Signal-To-Noise*) berguna untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang berpengaruh terhadap pengurangan pada variasi suatu respon. Rasio S/N digunakan untuk mengetahui variabel bebas mana yang berpengaruh terhadap hasil eksperimen. Tipe karakteristik pada rasio S/N, yaitu:

- a) Semakin kecil, semaik baik

Yang batas nilainya 0 atau non negatif. Apabila nilainya mendekati nol seperti yang diinginkan.

$$S/N = - 10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^r Y_i^2 \right) \dots\dots\dots (2.10)$$

Dimana:

N = total pengulangan suatu trial

- b) Tertuju pada nilai tertentu

Nilai terbaik yaitu apabila nilai mendekati suatu nilai yang telah ditentukan.

$$S/N = - 10 \log V_e \dots\dots\dots (2.11)$$

$$S/N = - 10 \log \left(\frac{V_m - V_e}{n V_e} \right) \dots\dots\dots (2.12)$$

- c) Semakin besar, semakin baik

Kualitas terbaik apabila mempunyai nilai tak terbatas juga non negatif.

$$S/N = - 10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^r \frac{1}{Y_i^2} \right) \dots\dots\dots (2.13)$$

2.8.2. Interpretasi Hasil Eksperimen

Interpretasi yang dilakukan pada hasil eksperimen menggunakan analisis varians, antara lain perhitungan jumlah kuadrat (S_T), S terhadap rata-rata (S_n), S faktor *error* (S_e).

- a. Persen Kontribusi

Persen kontribusi adalah fungsi dari total kuadrat (SS) oleh masing-masing faktor yang signifikan. Pada analisis varians nilai MS pada suatu faktor:

$$MS_A = MS'_A + MS_e \dots\dots\dots (2.14)$$

$$MS_A = \frac{SS_A}{V_A} \dots\dots\dots (2.15)$$

Maka:

$$SS'_A = SS_A - (V_A).(MS_e) \dots\dots\dots (2.16)$$

Jadi persen kontribusi adalah:

$$\rho = \frac{SS'_A}{SS_T} \times 100\%$$

Apabila persen kontribusi residual *error* $\leq 15\%$ artinya tidak ada faktor yang berpengaruh terabaikan. Saat persen kontribusi residual *error* $\geq 50\%$ maka terdapat faktor yang berpengaruh terabaikan juga nilai *error* yang terlalu besar (Soejanto, 2009).

b. Interval Kepercayaan

Hasil eksperimen metode Taguchi pada interval kepercayaan dapat dihitung tiga kondisi.

1) Interval kepercayaan untuk level faktor (CI_1)

$$CI_1 = \sqrt{\frac{F_{\alpha;1;ve} MS_e}{n}} \dots\dots\dots (2.17)$$

$$\mu_{Ak} = \bar{A}_k \pm CI_1$$

$$\bar{A}_k - CI_1 \leq \mu_{Ak} \leq \bar{A}_k + CI_1 \dots\dots\dots (2.18)$$

Dimana:

$F_{\alpha;1;ve}$: Rasio F

A : resiko

V_1 : 1

V_e : derajat kebebasan *error*

MS_e : rata-rata kuadrat *error* (Variansi kesalahan)

n : jumlah yang diteliti pada suatu kondisi

μ_{Ak} : dugaan rata-rata faktor A pada perlakuan (level) ke K

\bar{A}_k : rata-rata faktor A pada perlakuan ke k

k : 1,2,...

2) Interval kepercayaan pada kondisi perlakuan yang diprediksi (CI_2)

$$CI_2 = \sqrt{\frac{F_{\alpha;1;ve} MS_e}{n_{eff}}} \dots\dots\dots (2.19)$$

Dimana:

$$N_{eff} : \frac{N}{1 + (\text{jumlah dof yang berhubungan dengan estimasi A})}$$

N : total data seluruh percobaan

3) Interval kepercayaan untuk memprediksi eksperimen konfirmasi (CI_3)

CI_3 ini digunakan pada sampel saat kondisi spesifik level faktor.

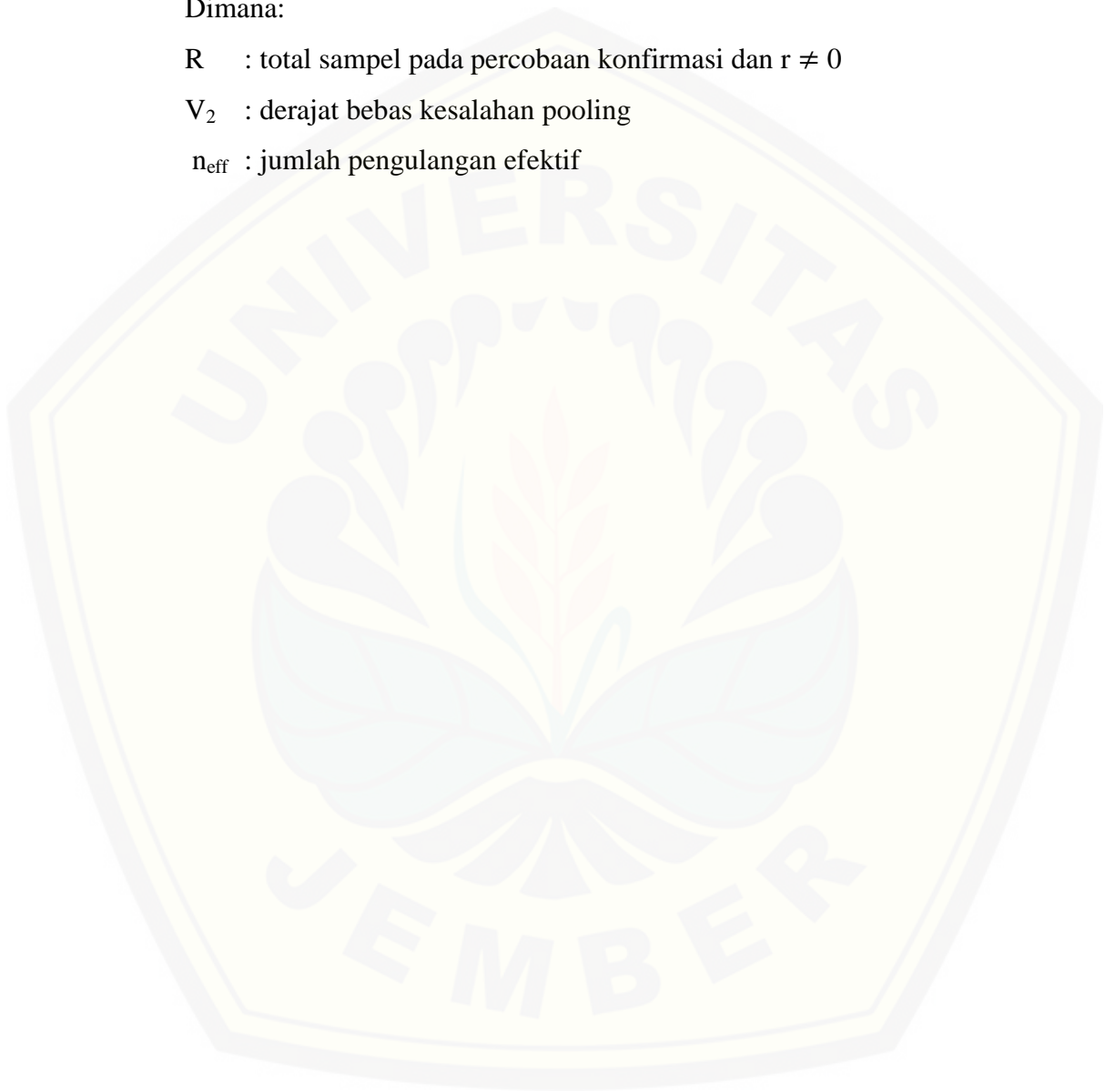
$$CI_3 = \sqrt{F_{\alpha;1;ve} MS_e \left[\left(\frac{1}{n_{eff}} \right) + \left(\frac{1}{r} \right) \right]}$$

Dimana:

R : total sampel pada percobaan konfirmasi dan $r \neq 0$

V_2 : derajat bebas kesalahan pooling

n_{eff} : jumlah pengulangan efektif



BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini akan dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin Fakultas Teknik, Kecamatan Patrang Kabupaten Jember Jawa Timur. Waktu penelitian akan dijadwalkan pada bulan Februari – Agustus 2020.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1. Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Mesin yang digunakan pada penelitian ini adalah Mesin *Injection moulding* dengan tipe pneumatik yang memiliki spesifikasi sebagai berikut:

Model Mesin : *Injection moulding* tipe pneumatik

Dimensi : 550 x 500 x 1060 mm

Tegangan Listrik : 220 volt/ 50 hz/ 600 watt

Tekanan Kompresor : 8 bar

Temperature Heater : Min 20 °C – Max 450 °C

2. Alat pemanas yang digunakan pada penelitian ini adalah Kompor Listrik yang memiliki spesifikasi sebagai berikut:

Dimensi : 235 x 300 x 98 mm

Tegangan Listrik : 220 volt/ 50 hz/ 300 – 600 Watt

3. Peralatan ukur

Peralatan ukur yang digunakan untuk penelitian adalah sebagai berikut:

a) *Thermocontrol*

Thermocontrol digunakan untuk mengontrol *temperature* kompor listrik, supaya mendapatkan *Temperature* yang sesuai dengan *Temperature* yang ditentukan.

b) *Stopwatch*

Alat ini digunakan untuk mengukur *holding time* pada saat dilakukannya proses *debinding* dan *sintering*.

3. Mesin *Furnace*

Model NDI : LF 5.2

Watt : 3 KW

Amper : 13.6 A

Seri : 10 2015

Volt : 220 V

Phase : 1

4. *3D Scanner*

3D scanner digunakan untuk mengetahui nilai volume pada spesimen, dengan spesifikasi sebagai berikut:

Model : Einscan-SE

Type : 3D Scanner

Input Voltage : DC=12 V, 3.3A

Manufacturer : Shining 3D Tech Co., Ltd.

Single Shot Accuracy : $\leq 0,1$ mm

Minimum Scan Volume : 30 mm x 30mm x 30mm

Maximum Scan Volume : 700mm x 700mm x 700mm

Camera Resolution : 1.3 Mega Pixels

Stand-off Distance : 290 ~ 480 mm

Gaphic Card : Nvidia series;Gaphics memory > IG

Computer Requirements : USB = 1 x USB 2.0 or 3.0;

OS = Win7, Win8, Win10 (64 bit)

CPU = Dual-core i5;

RAM = 8G

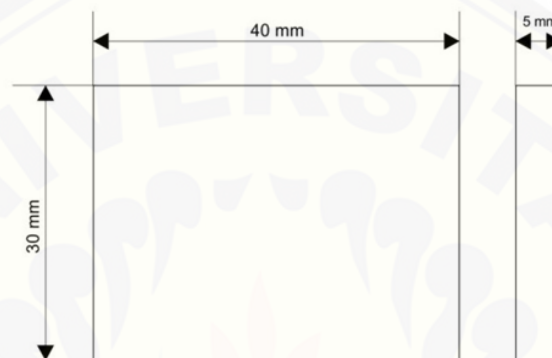
Dimension : 570x210x210 mm

Power Supply : 40 w

Load Capacity of Turntable : 5 kg

3.2.2. Bahan

Penelitian ini menggunakan bahan dasar serbuk Aluminium (Al) 45%-wt, 25%-wt plastik jenis PP (*polypropylene*), 28%-wt *paraffin wax* (PW), 2%-wt *stearic acid*, juga ada variasi penambahan timah (Sn). Serta menggunakan cetakan dari aluminium yang dibentuk sesuai dengan gambar dibawah ini.



Gambar 3.1 Spesimen uji

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain sebagai berikut:

1. Serbuk Aluminium

Serbuk aluminium digunakan karena memiliki beberapa sifat yang menguntungkan pada bidang teknologi. Berikut spesifikasi dari aluminium:

Assay (complexometric)	$\geq 90.0\%$
Heavy metals (as Pb)	$\leq 0.03\%$
As (Arsenic)	$\leq 0.0005\%$
Fe (Iron)	$\leq 1.0\%$

2. Binder

Binder digunakan sebagai pengikat serbuk aluminium dan timah pada *feedstock* yang terdiri dari:

a) *Polypropylene*

PP digunakan untuk tulang punggung untuk menjaga bentuk setelah melalui beberapa proses sampai proses *sintering*.

b) *Paraffin wax* (PW)

Bahan ini digunakan untuk membantu proses pengikatan pada serbuk Al dan PP.

c) *Stearic acid* (SA)

Bahan SA digunakan sebagai penambah kekuatan dari bahan parafin.

3. Serbuk Timah

Serbuk timah ini digunakan untuk membantu proses *sintering* dan membantu untuk meningkatkan karakteristik aluminium.

4. Heksana

Larutan heksana digunakan untuk membantu menghilangkan *binder* pada *feedstock* dalam proses *debinding*.

3.3 Variabel Penelitian

Data yang digunakan pada penelitian ini merupakan data primer yang diperoleh dari hasil percobaan. Variabel-variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

3.3.1. Variabel Bebas

Variabel bebas adalah suatu variabel yang mempengaruhi terjadinya suatu atau variabel penyebab. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah:

- a. *Temperature*
- b. *Holding Time*
- c. Variasi Penambahan Sn

3.3.2. Variabel Respon

Variabel respon adalah variabel yang diamati dalam penelitian ini. Nilai variabel ini dipengaruhi oleh nilai-nilai variabel proses yang telah ditentukan. Variabel respon yang digunakan dalam penelitian ini adalah densitas spesimen uji pada hasil proses *sintering*.

3.3.3. Variabel Konstan

Variabel konstan adalah variabel yang tidak termasuk dalam penelitian. Nilai variabel ini tidak berubah atau konstan selama percobaan, sehingga mempengaruhi variabel respon. Variabel-variabel yang menjadi variabel konstan pada penelitian ini adalah suhu ruangan ($^{\circ}\text{C}$).

3.4 Rancangan Percobaan

3.4.1. Pengaturan Variabel pada Proses *Sintering*

Proses *sintering* bertujuan untuk menyatukan antar partikel yang disebabkan oleh perlakuan panas di bawah *temperature* titik lelehnya. Pengaturan variabel bertujuan untuk membatasi penelitian yang akan dilakukan berdasarkan variabel yang mempengaruhi proses. Penentuan variabel-variabel yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 3.1 dibawah ini:

Tabel 3.1 Variabel yang digunakan dalam proses *sintering*

Kode	Variabel	Satuan	Level 1	Level 2	Level 3
A	Variasi Sn	-wt%	0	1	2
B	<i>Temperature</i>	$^{\circ}\text{C}$	450	550	650
C	<i> Holding Time</i>	h	1	2	3

3.4.2. Pemilihan Matriks *Orthogonal*

Penentuan matriks *orthogonal* berdasarkan dengan parameter dan level dari setiap parameter kendali. Matriks *orthogonal* harus mempunyai derajat kebebasan yang lebih besar atau sama dari pada derajat kebebasan parameter yang ditetapkan. Derajat kebebasan dari parameter kendali ini dihitung dengan menggunakan persamaan pada Tabel 3.2

Tabel 3.2 Jumlah derajat kebebasan parameter kendali

No	Parameter Kendali	Jumlah Level	df = k-1
1	Variasi Sn	3	2
2	<i>Temperature</i>	3	2
3	<i> Holding time</i>	3	2
Total			6

Tabel 3.2 menunjukkan bahwa total derajat kebebasan pada parameter kendali adalah 6. Maka matriks *orthogonal* yang sesuai untuk percobaan ini dengan derajat kebebasan enam adalah $L9(3^3)$. Tabel matriks *orthogonal* $L9$ disajikan pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Matriks *Orthogonal* $L9$

No Percobaan	Parameter Kendali		
	A	B	C
1	1	1	1
2	1	2	2
3	1	3	3
4	2	1	2
5	2	2	3
6	2	3	1
7	3	1	3
8	3	2	1
9	3	3	2

Data penelitian yang digunakan akan diolah seperti yang terlihat pada Tabel 3.4 percobaan sebagai berikut:

Tabel 3.4 Pengolahan Data Uji Coba

No Percobaan	<i>Control Factor</i>			Densitas		
	Variasi Sn (gam)	<i>Temperature</i> (°C)	<i>Holding time</i> (s)	Replikasi		
				I	II	III
1	0	450	1			
2	0	550	2			
3	0	650	3			
4	1	450	2			
5	1	550	3			
6	1	650	1			
7	2	450	3			
8	2	550	1			
9	2	650	2			

3.4.3. Analisis Variansi dan Persen Kontribusi

Analisis variansi (ANOVA) digunakan untuk menentukan variabel proses yang pengaruhnya signifikan dan kontribusi yang sangat besar terhadap variabel

respon. Pada penelitian ini, analisis variansi dilakukan menggunakan S/N rasio yang merupakan respon yang mewakili keseluruhan dari seluruh respon. Perhitungan ANOVA S/N rasio dari tiap-tiap variabel proses dapat dihitung menggunakan rumus:

Tabel 3.5 Tabel Analisis Penggabungan

Sumber Variansi	Degree of Freedom (df)	Sum of Square (SS)	Mean of Square (MS)	F Hitung (F ₀)
Factor A	Df _A = k _A -1	SS _A = nA $\sum_{i=1}^n (Ai - \bar{y})^2$	MS _A = $\frac{SS_A}{df_A}$	$\frac{MS_A}{MS_E}$
Factor B	Df _B = k _B -1	SS _B = nB $\sum_{i=1}^n (Bi - \bar{y})^2$	MS _B = $\frac{SS_B}{df_B}$	$\frac{MS_B}{MS_E}$
Factor C	Df _C = k _C -1	SS _C = nC $\sum_{i=1}^n (Ci - \bar{y})^2$	MS _C = $\frac{SS_C}{df_C}$	$\frac{MS_C}{MS_E}$
Error	Df _E = df _T - df _A - df _B - df _C	SS _E = SS _T - SS _A - SS _B - SS _C	MS _E = $\frac{SS_E}{df_E}$	
Total	Df _T = N - 1	SS _T = $\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$		

Hasil dari perhitungan di atas pada setiap analisis proses kemudian dimasukkan ke dalam Tabel 3.6

Tabel 3.6 Hasil ANOVA dan kontribusi variabel respon

Variabel proses	DF	SS	MS	F	P value	ρ
Temperature						
Holding time						
Variasi Sn						
Error						
Total						

3.5 Langkah-langkah Percobaan

Langkah-langkah pelaksanaan percobaan yang akan dilaksanakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Mempersiapkan peralatan, benda kerja, bahan plastik, dan binder:
 - 1) Timbang *feedstock* serbuk aluminium, variasi serbuk Sn, dan binder (plastik PP, *paraffin wax*, dan *stearic acid*).

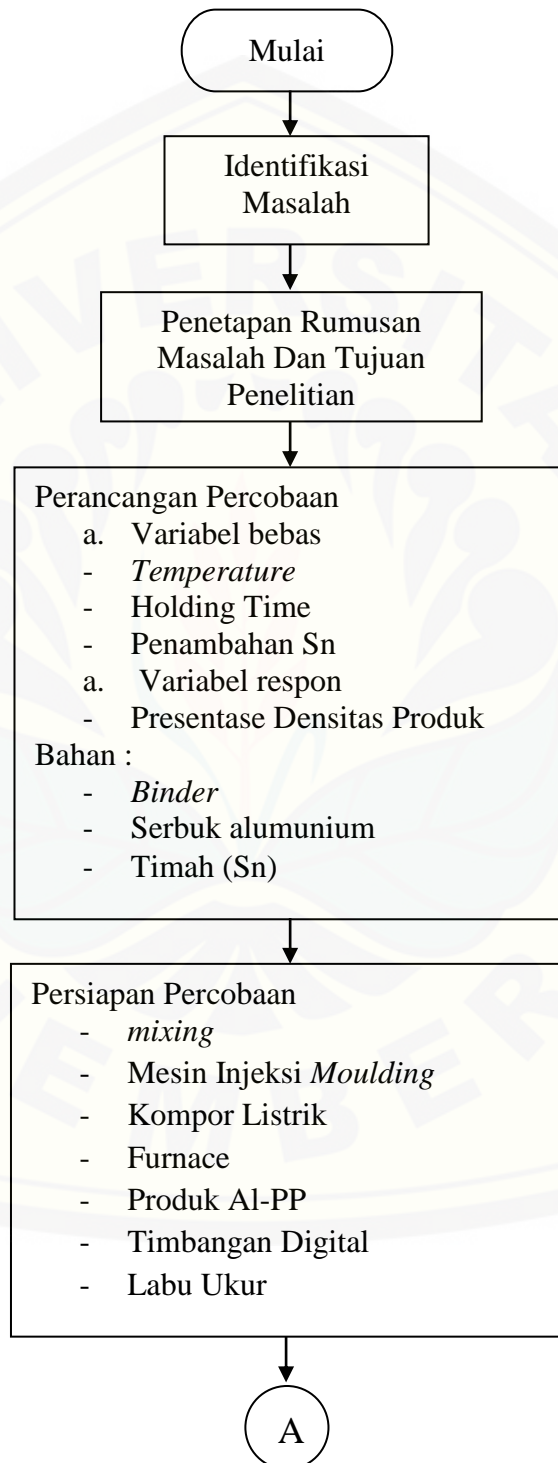
- 2) Lakukan proses *mixing* serbuk aluminium, variasi jumlah serbuk Sn, dan *binder*.
 - 3) Membersihkan *mold base* dari kotoran sisa-sisa bahan hasil pengerjaan sebelumnya.
- b. Memasang *mold base* pada meja mesin *injection moulding* kemudian dikencangkan dan atur kelurusannya antara *mold* dan *nozzle*.
 - c. Kemudian *feedstock* dicetak menggunakan mesin *injection moulding* dengan parameter yang telah ditetapkan.
 - d. *Green part* hasil *injection* dilakukan proses *debinding* dengan larutan kimia untuk menghilangkan *binder* pada *green part*.
 - e. Masukkan *green part* lalu panaskan *furnace* di atas suhu yang akan diteliti dan tahan sampai waktu yang akan di teliti.
 - f. Hasil dari proses *sintering* dilakukan pengukuran densitas.
 - 1) Menimbang spesimen sebelum dan setelah proses *sintering*.
 - 2) Untuk mengetahui nilai volume dilakuna 3D *Scanner* menggunakan aplikasi *einScan* setelah itu menggunakan aplikasi *meshmixer*.
 - 3) Proses 3D *Scanner* dilakukan sebelum dan setelah proses *sintering*.

3.6 Pengambilan Data

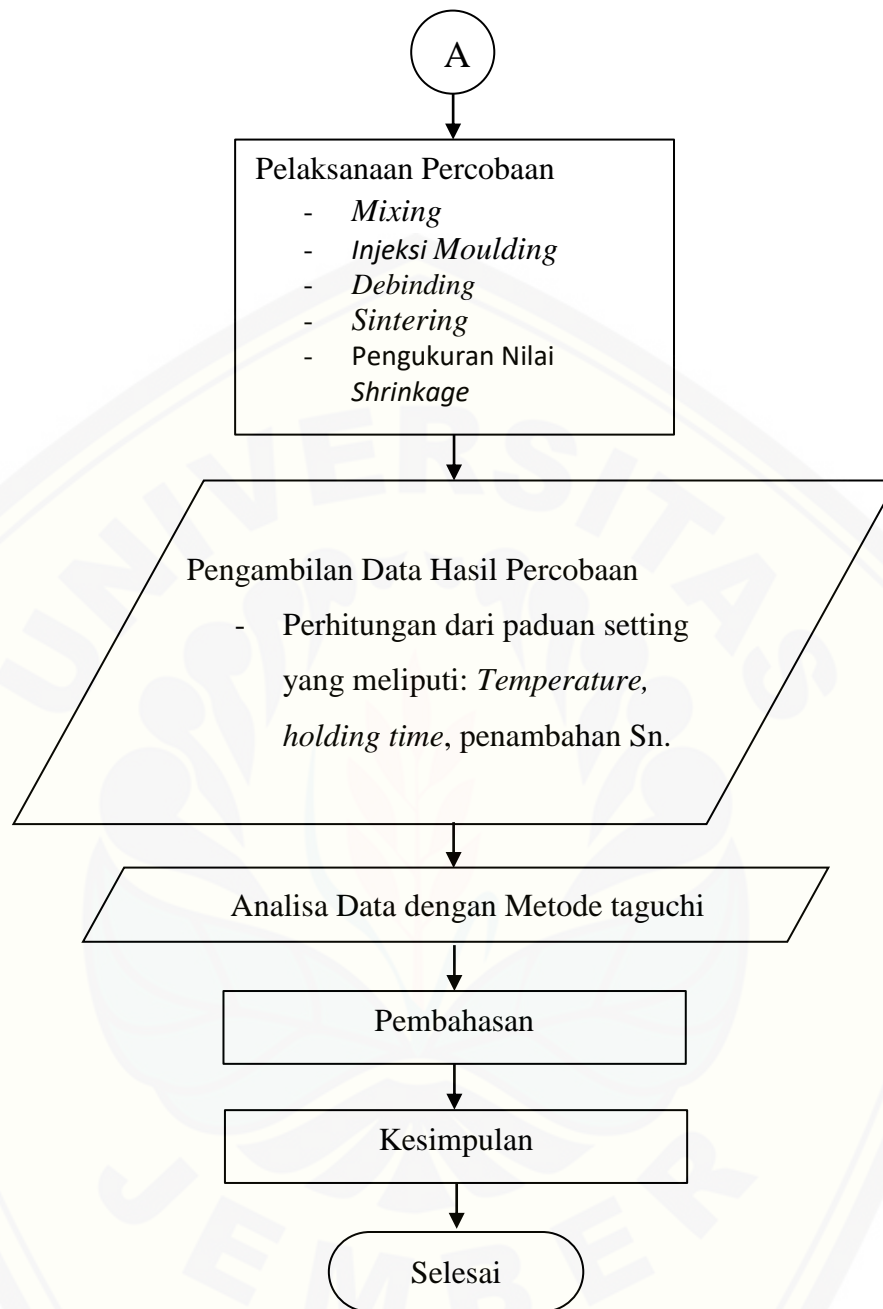
Nilai perubahan densitas dapat diketahui dengan cara membandingkan densitas sebelum dan setelah proses *sintering*. Pengolahan data *temperature*, *holding time*, dan variasi Sn menggunakan metode Taguchi dengan mengikuti prosedur-prosedur dan nilai-nilai yang diketahui.

3.7 Diagram Alir

Diagram alir penelitian ini, dapat dilihat pada gambar 3.2 sebagai berikut:



Gambar 3.2 Diagram alir penelitian



Gambar 3.2 Diagram alir metode penelitian

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini dengan menggunakan metode Taguchi yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- a. Pengaruh parameter terhadap densitas hasil proses *sintering* dengan menggunakan bahan campuran aluminium, *polypropylene*, *paraffin wax*, *stearic acid*, dan juga penambahan Sn dipengaruhi oleh Variasi Sn sebesar 47%, *Temperature* sebesar 21%, dan *holding time* sebesar 3%.
- b. Variabel paling optimal terjadi pada variasi Sn pada level 3 dengan penambahan 2% Sn, *Temperature* pada level 3 dengan 650°C, dan *holding time* pada level 3 selama 3 jam.

5.2 Saran

Setelah melakukan penelitian ini, saran yang bisa saya berikan adalah sebagai berikut:

- a. Pada penelitian selanjutnya, sebaiknya menggunakan jenis campuran yang berbeda dan menggunakan parameter yang lain, supaya memberikan inovasi baru.
- b. Saat proses *sintering* sebaiknya menggunakan penambahan gas nitrogen atau argon untuk mendapatkan hasil yang lebih baik.
- c. Metode yang digunakan dalam penelitian selanjutnya sebaiknya menggunakan metode yang lain, supaya dapat dibandingkan persentasenya.

DAFTAR PUSTAKA

- Abolhasani, H., N. Muhamad. 2010. A New Starch-Based *Binder* for *Metal Injection moulding*. *Material Processing Technology*. 210: 961-968.
- Afrilinda, E., S. Virhdian, M. Doloksaribu. 2017. Studi Awal Pembuatan *Feedstock Metal Injection Moulding* Menggunakan Torque Rheometer. *Metal Indonesia*. 39(1): 33-44.
- Andriani, D.P., N.W. Setyanto, L.T.W.N. Kusuma. 2017. *Desain dan Analisa Eksperimen Untuk Rekayasa Kualitas*. Malang: UB Press.
- Asmawi, R., A.M. Amin, N. Mustafa, N. Alawi. 2014. *Mixing study of alumunium waste as metal powder for waste polystyrene binder system in Metal Injection moulding (MIM)*. *Applied Mechanics and Materials*. (660): 239-243.
- Aziz F., Lagiyono, M.F. Sidiq. 2016. *Study Sifat Mekanik Komposit Matrik Polyester Yang Diperkuat Serta Pohon Timah dan Serbuk Timah*. 12(1): 18-23.
- Aziz, K.F. Pengaruh *Holding Time* dan *Mold Temperature* terhadap Cacat *Warpage* Pada Proses Pembuatan Komposit Al-PP Dengan *Injection moulding*. *Skripsi*. Jember: Progam Sarjana Universitas Jember.
- Brown, J. 1991. *Modern Manufacturing Processes*. First edition. New York: Industrial Press Inc.
- Enneti, R.K, V.P Onbattuvelli, O. Gulsoy, K.H. Kate, S.V. Atre. 2019. *Handbook: Powder Binder Formulation and Compound Manufacture in Metal Injection moulding (MIM)*. second Edition. United States: *Metal and Surface Engineering*. Pages 57-88
- Hadi, S.. 2016. *Teknologi Bahan*. Yogyakarta: CV. ANDI OFFSET.
- Heaney, D.F. 2019. *Handbook: Qualification of Metal Injection moulding (MIM)*. second Edition. United States: *Metal and Surface Engineering*. Pages 271-280.
- Jaman, W.S., S. Virhdian, E. Afrilinda. 2018. Studi Awal *Solvent debinding Feedstock Metal Injection moulding Fe2%Ni*. *Metal Indonesia*. 40(1): 10-16.
- Ji, C.H., N.H Loh, K.A Khor, S.B. Tor. 2001. *Sintering study of 316L stainless steel Metal Injection moulding parts using Taguchi method: final density*. *Material Science and Engineering*. A331: 74-82.

- Jusuf, O.. 2010. *Membuat Patung Gips dan Lilin*. Jakarta: PT. Gamedia Pustaka Utama.
- Kent, D., Z.Y. Liu, G.B. Schaffer. 2009. Powder injection moulding of an Al-AlN metal matrix composite. *Material Science and Engineering*. Page 352-356.
- Liu Z.Y., T.B. Sercombe, G.B. Schaffer. 2008. Metal injection moulding of aluminium alloy 6061 with tin. *Powder Metallurgy*. 51(1): 78-83.
- Mawardi, I., H. Lubis. 2018. *Proses Manufaktur Plastik dan Komposit*. Yogyakarta: Penerbit Andi (Anggota IKAPI).
- Mundilarto, E. Istiyono. 2007. *Seri IPA Fisika 1*.
- Ni, J., M. Yu, K. Han. 2018. *Debinding and Sintering* of an Injection-Moulded Hypereutectic Al-Si Alloy. *Materials*. 11(807): 1-10.
- Permana, M.R.R., 2019. Pengaruh Suhu Dan Waktu Proses *Solvent debinding* Terhadap Berat *Green part* Pada *Metal Injection moulding* Serbuk Aluminium. *Skripsi*. Jember: Progam Sarjana Universitas Jember.
- Pulungan, M.H., I.A. Dewi, C.G. Perdani, K. Wardina, , D. Pujiana. 2018. *Teknologi Pengemasan dan Penyimpanan*. Malang: UB Press.
- Rochmadi, A. Permono. 2018. *Mengenal Polimer dan Poimerisasi*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Saputra, D.A.N. 2019. Pengaruh Variasi *Barrel Temperature, Injection Pressure, Dan Cooling Time* Terhadap Cacat *Warpage* Pada Proses *Injection moulding* (Al-PP). *Skripsi*. Jember: Progam Sarjana Universitas Jember.
- Schlieper, G., G. Dowson, B. Williams, and F. Petzoldt. 2013. *Metal Injection moulding*. Editor: M. Bloemacher, M.A. Gande, B.Vicenzi, F. Petzoldt, K. Murray. Shrewsbury: European Powder *Metallurgy* Association (EPMA).
- Sukandarrumidi. 2018. *Geologi Mineral Logam*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Susanti, A.D., D.Ardiana, G. Gumelar P., Y. Bening G.,. Polaritas Pelarut Sebagai Pertimbangan Dalam Pemilihan Pelarut Untuk Ekstraksi Minyak Bekatul Dari Bekatul Varietas Ketan (*Oriza Sativa Glatinosa*) 2012.
- Soejanto, I. 2009. *Desain Eksperimental Dengan Metode Taguchi*. Yogyakarta: Ilmu Gaha.
- Tantowi, A.E. 2008. *Laser Sintering Teori, Simulasi Numerik, dan Eksperimen*. Edisi Pertama. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

Virdhian. S., Pujiyanto. 2014. Pengembangan Komponen Near Net Shape Berbiaya Rendah Dengan proses *Metal Injection moulding*. *Jurnal Riset Industri*. 8(1): 11-21.

WAHI, A., N. Muhammad, A. B. Sulong, dan R. N. Ahmad. 2016. Effect of *Sintering Temperature* on Density, Hardness and Strength of MIM Co30Cr6Mo Biomedical Alloy. *J.Jpn. Soc. Powder Metallurgy*. 63(7) : 434-437



LAMPIRAN

Lampiran tabel minitab

* 1	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
	Variasi Sn	Temperature	Holding Time	PPD%	SNRA1	MEAN1	FITS	RESI	ACF1	
1	0	450	1	41	-32,2557	41	-32,0123	-0,243385	0,306213	
2	0	550	2	33	-30,3703	33	-30,6141	0,243819	0,079631	
3	0	650	3	29	-29,2480	29	-29,2475	-0,000435	0,313944	
4	1	450	2	36	-31,1261	36	-31,1256	-0,000435	-0,148818	
5	1	550	3	30	-29,5424	30	-29,2990	-0,243385	-0,331642	
6	1	650	1	27	-28,6273	27	-28,8711	0,243819	-0,121109	
7	2	450	3	28	-28,9432	28	-29,1870	0,243819	-0,290699	
8	2	550	1	26	-28,2995	26	-28,2990	-0,000435	-0,307519	
9	2	650	2	24	-27,6042	24	-27,3608	-0,243385		
10										

Gambar 1. Penyajian data menggunakan minitab

Taguchi Analysis: PPD% versus Variasi Sn; Temperature; Holding Time

Response Table for Signal to Noise Ratios

Smaller is better

Level	Variasi Sn	Temperature	Holding Time
1	-30,62	-30,77	-29,73
2	-29,77	-29,40	-29,70
3	-28,28	-28,49	-29,24
Delta	2,34	2,28	0,48
Rank	1	2	3

Response Table for Means

Level	Variasi Sn	Temperature	Holding Time
1	34,33	35,00	31,33
2	31,00	29,67	31,00
3	26,00	26,67	29,00
Delta	8,33	8,33	2,33
Rank	1	2	3

Gambar 2. Analisis Taguchi

Analisa ANOVA

WORKSHEET 1

General Linear Model: SNRA1 versus Variasi Sn; Temperature; Holding Time

Method

Factor coding (-1; 0; +1)

Factor Information

Factor	Type	Levels	Values
Variasi Sn	Fixed	3	0; 1; 2
Temperature	Fixed	3	450; 550; 650
Holding Time	Fixed	3	1; 2; 3

Gambar 3. Informasi tiap faktor

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Variasi Sn	2	8,4244	4,2122	23,66	0,041
Temperature	2	7,9158	3,9579	22,23	0,043
Holding Time	2	0,4416	0,2208	1,24	0,446
Error	2	0,3561	0,1780		
Total	8	17,1378			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0,421932	97,92%	91,69%	57,93%

Gambar 4. Analisis varians dari S/N rasio

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	-29,557	0,141	-210,16	0,000	
Variasi Sn					
0	-1,067	0,199	-5,37	0,033	1,33
1	-0,208	0,199	-1,05	0,406	1,33
Temperature					
450	-1,218	0,199	-6,12	0,026	1,33
550	0,153	0,199	0,77	0,521	1,33
Holding Time					
1	-0,170	0,199	-0,86	0,483	1,33
2	-0,143	0,199	-0,72	0,547	1,33

Regression Equation

$$\text{SNRA1} = -29,557 - 1,067 \text{ Variasi Sn}_0 - 0,208 \text{ Variasi Sn}_1 + 1,275 \text{ Variasi Sn}_2 - 1,218 \text{ Temperature}_{450} + 0,153 \text{ Temperature}_{550} + 1,064 \text{ Temperature}_{650} - 0,170 \text{ Holding Time}_1 - 0,143 \text{ Holding Time}_2 + 0,313 \text{ Holding Time}_3$$

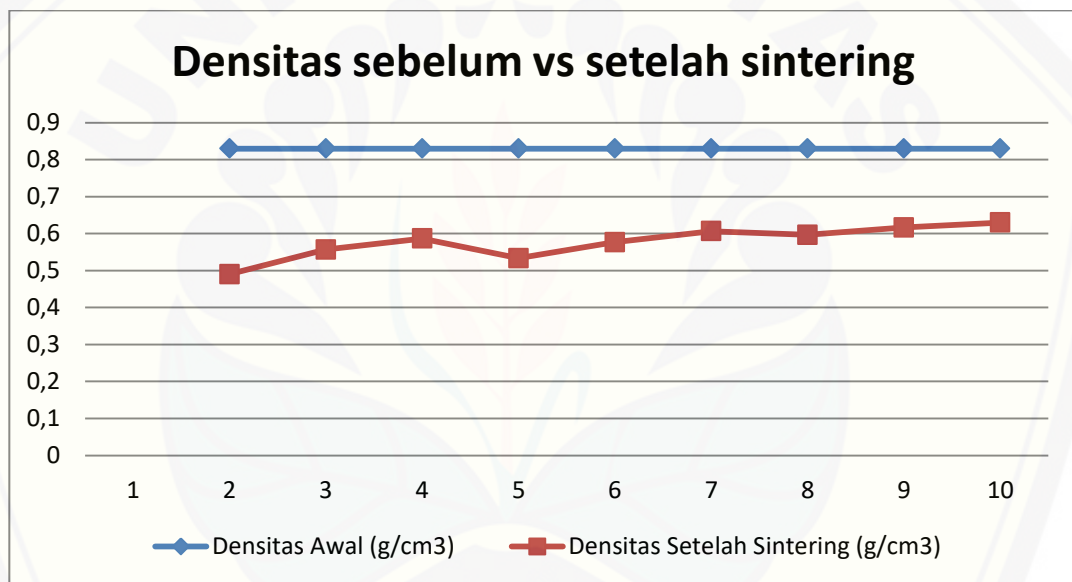
Gambar 5. Koefisien tiap parameter

Autocorrelation Function: SNRA1

Autocorrelations

Lag	ACF	T	LBQ
1	0,306213	0,92	1,16
2	0,079631	0,22	1,25
3	0,313944	0,86	2,88
4	-0,148818	-0,38	3,31
5	-0,331642	-0,83	6,04
6	-0,121109	-0,28	6,52
7	-0,290699	-0,67	10,70
8	-0,307519	-0,68	20,07

Gambar 6. Nilai ACF



Gambar 7. Nilai penurunan densitas sebelum *sintering* dan setelah *sintering*

Tabel uji Statistika $\alpha = 0,05$

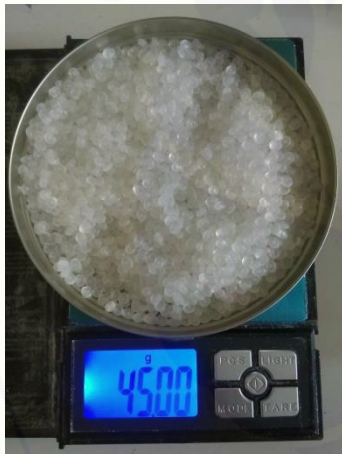
Titik Persentase Distribusi F untuk Probabilita = 0,05															
df untuk penyebut (N2)	df untuk pembilang (N1)														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	161	199	216	225	230	234	237	239	241	242	243	244	245	245	246
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.40	19.41	19.42	19.42	19.43
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.76	8.74	8.73	8.71	8.70
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.94	5.91	5.89	5.87	5.86
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.70	4.68	4.66	4.64	4.62
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.03	4.00	3.98	3.96	3.94
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.60	3.57	3.55	3.53	3.51
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.31	3.28	3.26	3.24	3.22
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.10	3.07	3.05	3.03	3.01
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.94	2.91	2.89	2.86	2.85
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.82	2.79	2.76	2.74	2.72
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.72	2.69	2.66	2.64	2.62
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.63	2.60	2.58	2.55	2.53
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.57	2.53	2.51	2.48	2.46
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.51	2.48	2.45	2.42	2.40
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.46	2.42	2.40	2.37	2.35
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.41	2.38	2.35	2.33	2.31
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.37	2.34	2.31	2.29	2.27
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.34	2.31	2.28	2.26	2.23
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.31	2.28	2.25	2.22	2.20
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.28	2.25	2.22	2.20	2.18
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.26	2.23	2.20	2.17	2.15
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.24	2.20	2.18	2.15	2.13
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.22	2.18	2.15	2.13	2.11
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.20	2.16	2.14	2.11	2.09
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22	2.18	2.15	2.12	2.09	2.07
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	2.20	2.17	2.13	2.10	2.08	2.06
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19	2.15	2.12	2.09	2.06	2.04
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18	2.14	2.10	2.08	2.05	2.03
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.13	2.09	2.06	2.04	2.01
31	4.16	3.30	2.91	2.68	2.52	2.41	2.32	2.25	2.20	2.15	2.11	2.08	2.05	2.03	2.00
32	4.15	3.29	2.90	2.67	2.51	2.40	2.31	2.24	2.19	2.14	2.10	2.07	2.04	2.01	1.99
33	4.14	3.28	2.89	2.66	2.50	2.39	2.30	2.23	2.18	2.13	2.09	2.06	2.03	2.00	1.98
34	4.13	3.28	2.88	2.65	2.49	2.38	2.29	2.23	2.17	2.12	2.08	2.05	2.02	1.99	1.97
35	4.12	3.27	2.87	2.64	2.49	2.37	2.29	2.22	2.16	2.11	2.07	2.04	2.01	1.99	1.96
36	4.11	3.26	2.87	2.63	2.48	2.36	2.28	2.21	2.15	2.11	2.07	2.03	2.00	1.98	1.95
37	4.11	3.25	2.86	2.63	2.47	2.36	2.27	2.20	2.14	2.10	2.06	2.02	2.00	1.97	1.95
38	4.10	3.24	2.85	2.62	2.46	2.35	2.26	2.19	2.14	2.09	2.05	2.02	1.99	1.96	1.94
39	4.09	3.24	2.85	2.61	2.46	2.34	2.26	2.19	2.13	2.08	2.04	2.01	1.98	1.95	1.93
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.04	2.00	1.97	1.95	1.92
41	4.08	3.23	2.83	2.60	2.44	2.33	2.24	2.17	2.12	2.07	2.03	2.00	1.97	1.94	1.92
42	4.07	3.22	2.83	2.59	2.44	2.32	2.24	2.17	2.11	2.06	2.03	1.99	1.96	1.94	1.91
43	4.07	3.21	2.82	2.59	2.43	2.32	2.23	2.16	2.11	2.06	2.02	1.99	1.96	1.93	1.91
44	4.06	3.21	2.82	2.58	2.43	2.31	2.23	2.16	2.10	2.05	2.01	1.98	1.95	1.92	1.90
45	4.06	3.20	2.81	2.58	2.42	2.31	2.22	2.15	2.10	2.05	2.01	1.97	1.94	1.92	1.89

Alat dan bahana yang digunakan

a. *Paraffin wax*



b. *Polypropylene*



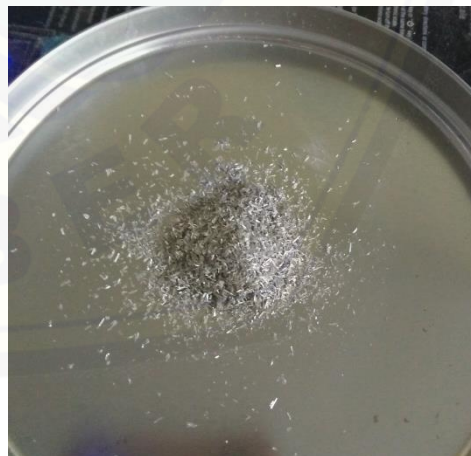
c. *Stearic acid*



d. Aluminium (Al)



e. Timah (Sn)



f. Heksana



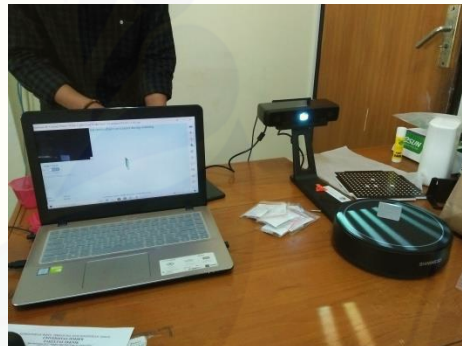
h. Furnace



g. Injection moulding



i. 3D Scanner



j. Timbangan Digital



k. *Mold*



Foto Proses Penelitian

a. Feedstock



d. Proses Debinding



b. Proses Injection



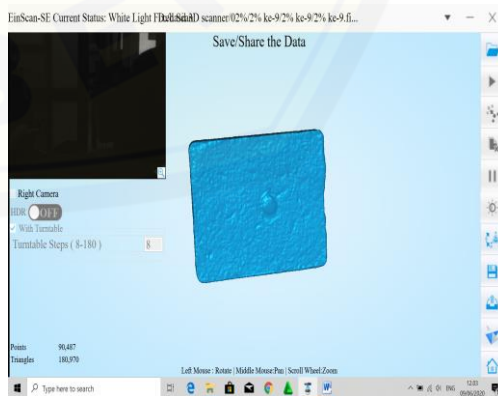
e. Pengambilan data berat



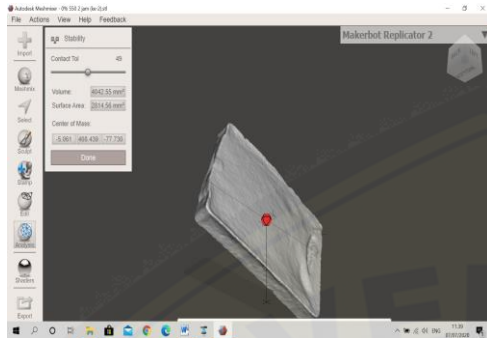
c. Pengambilan data volume



f. Pengolahan 3D scanner



g. Volume hasil 3D Scanner



i. Proses *Sintering*



h. Sebelum *Sintering*



j. Setelah Proses *Sintering*

