



**PENGARUH *TEMPERATURE*, *HOLDING TIME*, DAN
PENAMBAHAN Sn TERHADAP CACAT *SHRINKAGE* PADA
PROSES *SINTERING METAL INJECTION MOLDING* AL-PP**

SKRIPSI

Oleh

Ahmad Rendi Maulana

NIM 161910101035

PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2020



**PENGARUH *TEMPERATURE*, *HOLDING TIME*, DAN
PENAMBAHAN Sn TERHADAP CACAT *SHRINKAGE* PADA
PROSES *SINTERING METAL INJECTION MOLDING* AL-PP**

SKRIPSI

Diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Strata 1 Teknik Mesin
dan mencapai gelar Sarjana Teknik.

Oleh

Ahmad Rendi Maulana

NIM 161910101035

PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2020

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk :

1. Allah SWT yang memberikan nikmat sehat dan rahmat-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini;
2. Nabi Muhammad SAW merupakan panutan terbesar dalam hidup saya;
3. Kedua orang tua saya, ayahanda Satrani dan ibunda Sahna tercinta yang sangat berjasa dalam hidup saya, Terimakasih atas semua cinta, kasih sayang, perhatian, do'a, pengorbanan dan bimbingan beliau semua demi terciptanya insan yang beriman dan berakhlak mulia.
4. Saudara-saudaraku khususnya Kak Benny Candra Adinata, S.Pd., Cacak Jacky Febriantono, Mbak Fariza Apriyanti, dan Mbak Anni Puspita Sari tercinta yang selalu memberikan motivasi, doa dan dukungan moril maupun materil serta dorongan semangat dalam mengejar cita-cita.
5. Nenekku Mbah Giya dan Seluruh Keluargaku yang selalu menyemangati dan mendo'akanku tiada henti
6. Guru-guruku sejak TK sampai SMA, guru ngaji dan semua dosen jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah mendidik dengan sabar dan memberikan ilmu yang bermanfaat.
7. Almamater Universitas Jember tercinta.

MOTTO

“Diwajibkan atas kamu berperang padahal itu tidak menyenangkan bagimu,
tetapi boleh jadi kamu tidak menyenangi sesuatu padahal itu baik bagimu
dan boleh jadi kamu menyukai sesuatu padahal itu tidak baik bagimu,
Allah SWT mengetahui, sedang kamu tidak mengetahui”

(Q.S Al Baqarah ayat 216)

“Beljarlah kamu semua, dan mengajarlah kamu semua, dan hormatilah
guru-gurumu, serta berlaku baiklah terhadap orang yang mengajarkanmu”

(HR Tabrani)

“ Ikhtiar, Doa dan Tawakal”

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ahmad Rendi Maulana

NIM : 161910101035

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Pengaruh *Temperature, Holding Time*, Dan Penambahan Sn Terhadap Cacat *Shrinkage* Pada Proses *Sintering Metal Injection Molding Al-PP*” 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, 1 September 2020
Yang Menyatakan,

Ahmad Rendi Maulana
161910101035

SKRIPSI

**PENGARUH *TEMPERATURE*, *HOLDING TIME*, DAN
PENAMBAHAN Sn TERHADAP CACAT *SHRINKAGE* PADA
PROSES *SINTERING METAL INJECTION MOLDING* AL-PP**

Oleh

Ahmad Rendi Maulana

161910101035

Pembimbing:

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

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

PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul “Pengaruh *Temperature*, *Holding Time*, Dan Penambahan Sn Terhadap Cacat *Shrinkage* Pada Proses *Sintering Metal Injection Molding Al-PP*” karya Ahmad Rendi Maulana telah diuji dan disahkan pada:

Hari, tanggal : Selasa, 1 September 2020

Tempat : Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin

Tim Pembimbing

Pembimbing Utama,

Pembimbing Anggota,

Ir. Danang Yudistiro, S.T., M.T.
NIP 197902072015041001

Dr. Mochamad Asrofi, S.T.
NIP 760019035

Tim Penguji

Penguji I,

Penguji II,

Ir. Ahmad Adib Rosyadi, S.T., M.T.
NIP 198501172012121001

Ir. Robertus Sidartawan, S.T., M.T.
NIP 197003101997021001

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 CACAT *SHRINKAGE* PADA PROSES *SINTERING METAL INJECTION MOLDING AL-PP*

Ahmad Rendi Maulana, 161910101035; 2020; 67 halaman; Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember.

Metal Injection Molding (MIM) adalah teknologi yang menjanjikan untuk memproses serbuk logam menjadi beberapa bentuk yang diinginkan. Proses MIM menggabungkan pembuatan bentuk tradisional dari injeksi plastik dan fleksibilitas bahan metalurgi serbuk. Keuntungan dari proses MIM adalah dimensi dan bentuk produk yang dihasilkan mendekati produk akhir (*near net shape*), sehingga proses lanjutan (pemesinan) dapat diminimalisir sehingga mengurangi biaya produksi. Selain itu material yang digunakan lebih efisien dari proses yang lainnya. MIM adalah proses teknologi yang relatif terbaru digunakan dalam industri metalurgi serbuk, yang sangat efisien dan bermanfaat untuk pembuatan komponen logam kecil dan rumit dalam jumlah besar. Proses MIM terdapat empat dasar langkah-langkah yang terdiri *mixing*, injeksi cetakan, *debinding*, dan *sintering*.

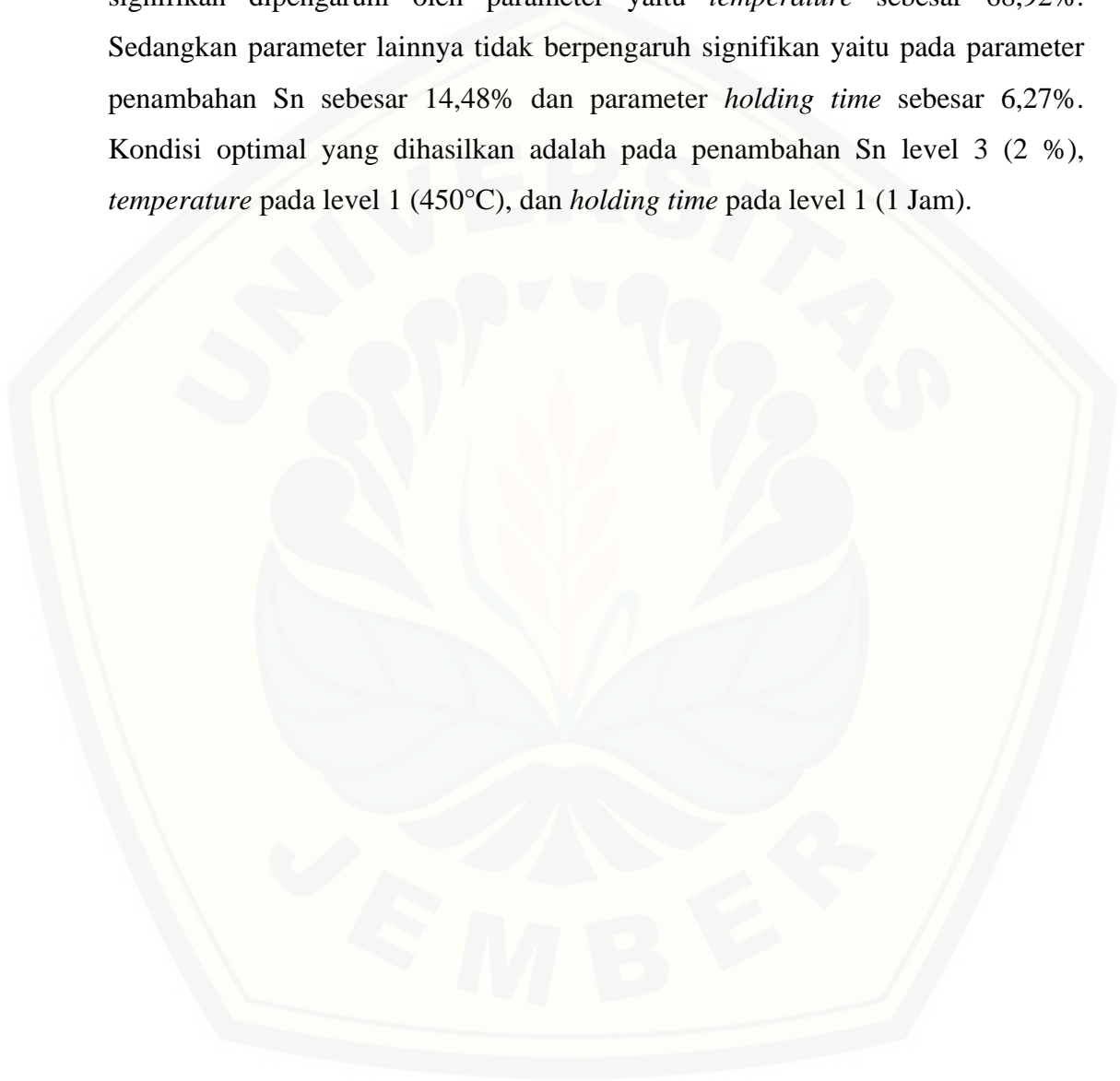
Proses *sintering* untuk memadatkan dan meningkatkan kekuatan dari serbuk logam. Proses *sintering* menghasilkan produk dengan densitas tinggi (95-99%) dengan porositas pada produk mencapai 1-5% dan Penyusutan ukuran yang cukup besar terjadi pada produk yaitu sekitar 12-20%.

Penelitian bertujuan untuk mengetahui pengaruh *temperature*, *holding time* dan penambahan Sn terhadap cacat *shrinkage* pada proses *sintering metal injection molding* dan mengetahui kombinasi parameter yang paling optimum pada proses *sintering metal injection molding* terhadap cacat *shrinkage*. Bahan yang digunakan pada penelitian ini terdiri serbuk Aluminium (Al) 45%-wt dan *binder* (25%-wt plastik jenis PP (*polypropylene*), 28%-wt *paraffin wax* (PW), 2%-wt *stearic acid*).

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Kemasan, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember. Pada bulan Maret – Mei 2020. Penelitian ini

mengambil data nilai cacat *shrinkage* yang di hasilkan dengan metode *taguchi* berdasarkan matriks *orthogonal* L9(3³) dengan replikasi 3 kali untuk setiap kombinasinya.

Kontribusi parameter yang menghasilkan nilai cacat *shrinkage* yang paling signifikan dipengaruhi oleh parameter yaitu *temperature* sebesar 68,92%. Sedangkan parameter lainnya tidak berpengaruh signifikan yaitu pada parameter penambahan Sn sebesar 14,48% dan parameter *holding time* sebesar 6,27%. Kondisi optimal yang dihasilkan adalah pada penambahan Sn level 3 (2 %), *temperature* pada level 1 (450°C), dan *holding time* pada level 1 (1 Jam).



SUMMARY

THE EFFECT OF TEMPERATURE, HOLDING TIME, AND SN ADD TO SHRINKAGE DEFECTS IN THE SINTERING METAL INJECTION MOLDING AL-PP PROCESS

Ahmad Rendi Maulana, 161910101035; 2020; 67 pages; Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Jember University.

Metal Injection Molding (MIM) is a promising technology for processing metal powders into any desired shape. The MIM process combines the manufacture of traditional forms from plastic injection and the flexibility of powder metallurgy materials. The advantage of the MIM process is that the dimensions and shape of the resulting product are close to the final product (near net shape) so that further processing (machining) can be minimized, thereby reducing production costs. Also, the material used is more efficient than other processes. MIM is a relatively recent technological process used in the powder metallurgy industry, which is highly efficient and useful for the manufacture of large quantities of small and complex metal components. The MIM process consists of four basic steps consisting of mixing, injection molding, debinding, and sintering.

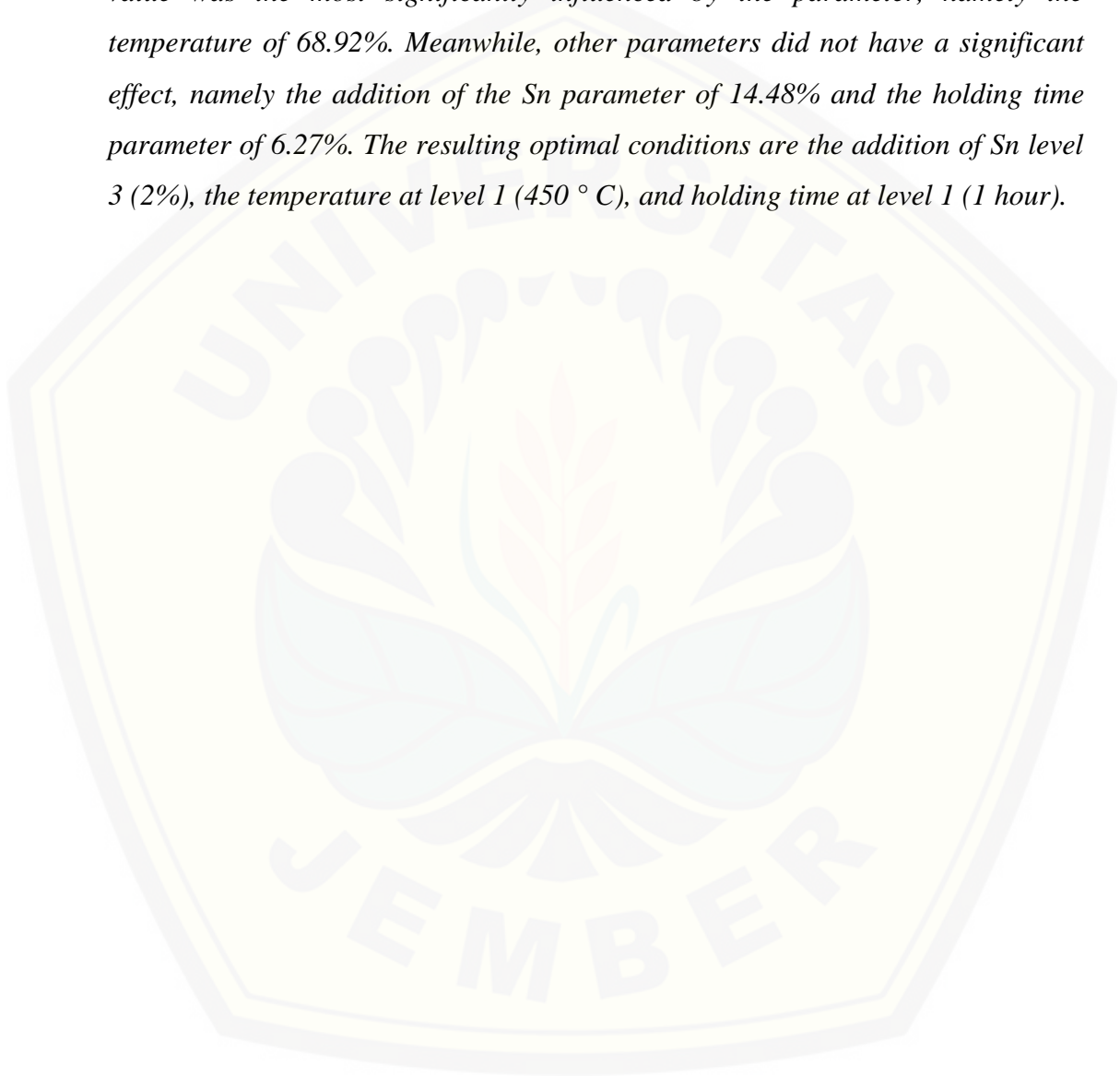
The sintering process to compact and increase the strength of metal powders. The sintering process produces a product with a high density (95-99%) with a porosity of 1-5% and a fairly large shrinkage occurs in the product, which is around 12-20%.

This study aims to determine the effect of temperature, holding time, and the addition of Sn to shrinkage defects in the sintering metal injection molding process and to determine the optimum combination of parameters in the sintering metal injection molding process on shrinkage defects. The materials used in this study consisted of 45% -wt Aluminum (Al) powder and binder (25% -wt PP plastic (polypropylene), 28% -wt paraffin wax (PW), 2% -wt stearic acid).

This research was conducted at the Packaging Laboratory, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember. In March-

May 2020. This study took data on the value of shrinkage defects generated by the Taguchi method based on the L9 orthogonal matrix (33) with replication 3 times for each combination.

The contribution of the parameters that resulted in the shrinkage defect value was the most significantly influenced by the parameter, namely the temperature of 68.92%. Meanwhile, other parameters did not have a significant effect, namely the addition of the Sn parameter of 14.48% and the holding time parameter of 6.27%. The resulting optimal conditions are the addition of Sn level 3 (2%), the temperature at level 1 (450 ° C), and holding time at level 1 (1 hour).



PRAKATA

Alhamdulillah, Puji syukur kehadiran Alla SWT atas segala limpahan rahmat, taufik dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul “Pengaruh *Temperature, Holding Time*, Dan Penambahan Sn Terhadap Cacat *Shrinkage* Pada Proses *Sintering Metal Injection Molding Al-PP*”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat penyelesaian pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Dalam Penyusunan skripsi ini tentunya banyak pihak yang telah memberikan bantuan baik moril maupun materil, maka penulis tidak lupa berterima kasih serta mengapresiasi khususnya kepada:

1. Kedua orang tua saya, ayahanda Satrani dan ibunda Sahna yang selalu mendukung dan mendo'akan disetiap perjalanan langkah saya, sehingga saya bisa menyelesaikan studi S1 Teknik Mesin;
2. Kakak Benny Candra Adinata, S.Pd., Cacak Jacky Febriantono, Mbak Fariza Apriyanti, dan Mbak Anni Puspita Sari tercinta yang selalu memberikan dukungan, motivasi dan doa;
3. Seluruh Keluarga yang senantiasa memberikan semangat dan doa untuk saya;
4. Bapak Ir. Danang Yudistiro, S.T.,M.T selaku Dosen Pembimbing Utama dan Bapak Dr. Mochamad Asrofi, S.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang penuh kesabaran membimbing, meluangkan waktu, fikiran serta perhatiannya guna memberikan saran dan arahan demi terselesaikannya skripsi ini;
5. Bapak Ir. Ahmad Adib Rosyasi, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji 1 dan Bapak Ir. Robertus Sidartawan, S.T.,M.T. selaku Dosen Penguji 2, yang telah memberikan kritik dan saran yang membangun dalam penyusunan skripsi ini;
6. Seluruh dosen, staf administrasi dan teknisi laboratorium Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah memberikan ilmu, membimbing dan membantu kelancaran saya selama saya duduk dibangku perkuliahan;
7. Dulur-dulur “Teknik Mesin 2016 (M18)” yang telah berjuang bersama, memberikan saran, ide dan membantu selama dibangku perkuliahan serta menyelesaikan studi S1 Teknik Mesin;

8. Keluarga besar “UKMO-ESTER” yang telah banyak memberikan kesempatan untuk berproses dan belajar dalam berorganisasi;
9. Keluarga besar “JONG MADURA dan Mahasiswa Sumenep 16” yang telah menemani selama ditanah rantau dan memberikan semangat, hiburan dan tawa dikala resah dan lelah;
10. Keluarga besar “Kontrakan Asoy” Atiqi, Wafir, Irul, Jumahwi, Rosi, Adan, Iqbal, Homaidi, Mas Dida, Bang Jalie, Mas Arief, Iman, Ahmad, Dayat Capo, Aldin, Ardo, Etak, Ical, Zei dan Radhea yang telah menghibur dikala suntuk dan Lelah bagi penulis;
11. Adek Dwi Marta Fatmayati yang telah sabar menemani dan memberikan support serta memberikan semangat sehingga terselesaikannya skripsi ini;
12. Rekan organisasi dan teman main Rimas Bimawan S dan Yahya Prianggoro yang selalu membantu selama perkuliahan dan organisasi;
13. Teman seperjuangan “ Mesin Sumenep 16” Wafir, Atiqi dan Uul yang telah memberikan kekompakkan dan semangat selama proses perkuliahan dan Skripsi ini;
14. Teman “KKN 167 Kesambi Rampak” Tajuddin, Gibran, Alwan, Yudi, Ardian, Mak Qonita, Sandra, Fifi, dan Farina yang memberikan semangat dan doa;
15. Teman “Tim Futsal Teknik Mesin dan Tim Futsal Fakultas Teknik” yang telah menemani bermain futsal dikala suntuk menyelesaikan skripsi ini;
16. Semua pihak yang telah berperan membantu menyelesaikan skripsi ini

Penulis menyadari bahwa masih ada kelemahan dan kekurangan baik dalam segi materi ataupun teknik penulisan skripsi ini. Peneliti sangat mengharapkan kritik dan saran dari pembaca agar skripsi ini menjadi lebih baik dan semoga memberikan manfaat bagi penulis dan pembaca.

Jember, 1 September 2020

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL.....	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
HALAMAN MOTTO	iv
HALAMAN PERNYATAAN.....	v
HALAMAN PEMBIMBINGAN.....	vi
HALAMAN PENGESAHAN	vii
RINGKASAN	viii
<i>SUMMARY</i>	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	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian.....	3
1.4.1. Tujuan	3
1.4.2. Manfaat	3
1.5 Hipotesa	3
BAB 2. TINJUAN PUSTAKA	5
2.1 <i>Metal Injection Molding</i> (MIM)	5
2.2 <i>Feedstock</i>	6
2.2.1. <i>Powder</i>	6
2.2.2. <i>Binder</i>	8
2.3 <i>Mixing</i>.....	10

2.4 Injeksi Molding	11
2.4.1. Bagian-Bagian Mesin <i>Injeksi Molding</i>	13
2.4.2. Parameter Proses <i>Injeksi Molding</i>	14
2.5 Debinding	15
2.5.1. <i>Thermal Debinding</i>	15
2.5.2. <i>Solvent Debinding</i>	16
2.5.3. <i>Katalik Debinding</i>	16
2.6 Sintering	16
2.7 Diagram Fasa Al-Sn.....	17
2.8 Cacat <i>Shrinkage</i>	18
2.9 3D Scanner	18
2.9.1. <i>Contact 3D Scanner</i>	19
2.9.2. <i>Non Contact Active 3D Scanner</i>	19
2.10 Metode <i>Taguchi</i>	20
2.10.1. Desain Eksperimen	21
2.10.2. Interpretasi Hasil Eksperimen.....	28
BAB 3. METODE PENELITIAN	31
3.1 Jenis Penelitian dan Rancangan Penelitian.....	31
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian.....	31
3.3 Alat dan Bahan.....	31
3.3.1. Alat	31
3.3.2. Bahan	33
3.4 Prosedur Penelitian.....	34
3.5 Pelaksanaan Penelitian	35
3.5.1. Persiapan dan Pembuatan <i>Greenpart</i>	35
3.5.2. Proses <i>Mixing</i>	36
3.5.3. Proses <i>Injeksi Molding</i>	36
3.5.4. Proses <i>Debinding</i>	36
3.5.5. Proses <i>Sintering</i>	37
3.5.6. Pengukuran Cacat <i>Shrinkage</i>	37
3.6 Variabel Penelitian.....	38

3.6.1. Variabel Bebas	38
3.6.2. Variabel Respon.....	38
3.6.3. Variabel Konstan	38
3.7 Pengambilan Data.....	38
3.8 Metode Analisa.....	40
3.9 Diagram Alir Penelitian	42
BAB 4. PEMBAHASAN.....	44
4.1 Data Hasil Percobaan	44
4.1.1. Fenomena Cacat <i>Shrinkage</i>	44
4.1.2. Data Percobaan	47
4.2 Pengujian Asumsi Residual.....	50
4.2.1. Uji <i>Independen</i>	50
4.2.2. Uji <i>Homogenitas</i>	50
4.2.3. Uji <i>Normalitas</i>	51
4.3 Perhitungan S/N Rasio.....	52
4.4 Kombinasi Variasi Optimal	53
4.5 Analisis of Varian (ANOVA).....	55
4.6 Prediksi Respon Optimal	59
4.7 Pembahasan Pengaruh Parameter	60
BAB 5. PENUTUP	66
5.1 Kesimpulan	66
5.2 Saran	66
DAFTAR PUSTAKA	68
LAMPIRAN.....	70

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Sifat Fisika dan Kimia Alumunium	7
Tabel 2.2 Contoh <i>Binder</i> yang digunakan pada Proses MIM	9
Tabel 2.3 <i>Spesifikasi</i> PP	9
Tabel 2.4 Contoh Tabel <i>Matriks Ortogonal</i> $L_9(3^3)$	23
Tabel 2.5 <i>Matriks Ortogonal</i> Standart dengan 2 Level	24
Tabel 2.6 <i>Matriks Ortogonal</i> Standart dengan 3 Level	24
Tabel 2.7 <i>Matriks Ortogonal</i> Standart dengan 4 Level	24
Tabel 2.8 <i>Matriks Ortogonal</i> Standart dengan 5 Level	25
Tabel 2.9 <i>Matriks Ortogonal</i> Standart dengan Level Gabungan	25
Tabel 3.1 Variabel Bebas dan 3 Variasi Penelitian Proses <i>Sintering</i> MIM Al-PP	38
Tabel 3.2 Data Hasil Pengujian Cacat <i>Shrinkage</i> Proses <i>Sintering</i> MIM Al-PP..	39
Tabel 3.3 Hasil Analisis Variasi dan Kontribusi Parameter Berpengaruh.....	40
Tabel 4.1 Hasil Nilai Volume Sebelum(V_1) dan Sesudah(V_2) <i>Sintering</i>	48
Tabel 4.2 Data Hasil Perhitungan Cacat <i>Shrinkage</i> Proses <i>Sintering</i>	49
Tabel 4.3 Data Hasil <i>S/N Rasio</i> Terhadap Cacat <i>Shrinkage</i>	53
Tabel 4.4 Rata-rata Nilai <i>S/N Rasio</i> Terhadap <i>Shrinkage</i> Tiap Faktor Kendali...	54
Tabel 4.5 Kombinasi Parameter Respon Optimal.....	55
Tabel 4.6 Hasil ANOVA dengan <i>S/N Rasio</i>	56
Tabel 4.7 Kondisi Hipotesa H_0	57
Tabel 4.8 Persen Kontribusi Parameter.....	59

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Proses MIM	6
Gambar 2.2 Mesn <i>Injeksi Molding Horizontal</i>	11
Gambar 2.3 Mesn <i>Injeksi Molding Vertikal</i>	11
Gambar 2.4 Bagian <i>Spure, Runner, dan Gate</i>	12
Gambar 2.5 Bagian Mesin <i>Injeksi Molding</i>	13
Gambar 2.6 Proses <i>Solvent Debinding</i>	16
Gambar 2.7 Diagram Fasa Al-Sn	17
Gambar 2.8 <i>3D Scanner</i>	19
Gambar 3.1 Spesimen Uji	36
Gambar 3.2 <i>3D Scanner</i>	37
Gambar 3.3 Diagram Alir Penelitian	42
Gambar 4.1 Dimensi Produk (a) Sebelum dan (b) Sesudah <i>Sintering</i>	44
Gambar 4.2 Volume Produk (a) Sebelum dan (b) Sesudah <i>Sintering</i>	45
Gambar 4.3 Penyusutan Tidak Merata	45
Gambar 4.4 <i>Distorsi</i>	46
Gambar 4.5 Retak	47
Gambar 4.6 Plot ACF	50
Gambar 4.7 Plot Uji <i>Homogenitas</i>	51
Gambar 4.8 Plot Uji Distribusi Normal	52
Gambar 4.9 Plot Rata-rata <i>S/N Rasio</i>	54
Gambar 4.10 Diagram Rata-rata Nilai <i>Shrinkage</i> Pengaruh Penambahan Sn	61
Gambar 4.11 Diagram Rata-rata Nilai <i>Shrinkage</i> Pengaruh <i>Temperature</i>	63
Gambar 4.12 Diagram Rata-rata Nilai <i>Shrinkage</i> Pengaruh <i> Holding Time</i>	65

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Metal Injection Molding (MIM) adalah teknologi yang menjanjikan untuk memproses serbuk logam menjadi beberapa bentuk yang diinginkan. Proses MIM menggabungkan pembuatan bentuk tradisional dari injeksi plastik dan fleksibilitas bahan metalurgi serbuk (Pachauri, 2016). Keuntungan dari proses MIM adalah dimensi dan bentuk produk yang dihasilkan mendekati produk akhir (*near net shape*), sehingga proses lanjutan (pemesinan) dapat diminimalisir sehingga mengurangi biaya produksi. Selain itu material yang digunakan lebih efisien dari proses yang lainnya karena jumlah material serbuk yang digunakan sama dengan produk yang diinginkan (Virdhian, 2014). MIM adalah proses teknologi yang relatif terbaru digunakan dalam industri metalurgi serbuk, yang sangat efisien dan bermanfaat untuk pembuatan komponen logam kecil dan rumit dalam jumlah besar. Proses MIM terdapat empat dasar langkah-langkah yang terdiri *mixing*, injeksi cetakan, *debinding*, dan *sintering* (Gelin, 2010). Pada proses *mixing* serbuk logam dan pengikat (*binder*) dicampur dalam sebuah *mixer* dan kemudian dibuat *feedstock* untuk mempermudah proses injeksi. Kemudian *feedstock* dimasukkan ke dalam *hopper* mesin *injection molding*. Hasil *injection molding* (*green part*) dihilangkan pengikatnya secara kimiawi dan *heat treatment* yang biasa disebut proses *debinding*. Hasil benda setelah di *debinding* dinamakan *brown part*, dan kemudian *brown part* dilakukan proses *sintering* untuk memadatkan dan meningkatkan kekuatan dari serbuk logam. Proses *sintering* menghasilkan produk dengan densitas tinggi (95-99%) dengan porisitas pada produk mencapai 1-5% dan Penyusutan ukuran yang cukup besar terjadi pada produk yaitu sekitar 12- 20%. (Afrilinda, 2017).

Menurut pada penelitian yang dilakukan oleh Gelin (2010) bahwa sebuah proses *sintering* telah dilakukan untuk spesimen uji tarik mengalami penyusutan rata-rata dari spesimen uji tarik dihasilkan sesuai percobaan dengan penyusutan arah panjang (*length*), lebar (*width*), dan ketebalan (*thickness*) yaitu sebesar

13,11%, 14,09%, dan 14,55%. Pada Penelitian yang dilakukan oleh Nor, dkk (2013) bahwa variasi *holding time* yang digunakan adalah 60 menit, 120 menit, dan 180 menit, sehingga menyebabkan terjadinya cacat *shrinkage* sebesar 12,27 dengan variasi *holding time* 60 menit paling optimal. Pada penelitian yang dilakukan Heaney D. F., (2007) bahwa pada proses pelarut *debinding* pada 60°C selama 4 jam, *debinding thermal* dalam 10% H₂ dan 90% atmosfer N₂, *pra-disinter* pada suhu 800°C selama 0,5 jam dan akhirnya di *sintering* pada suhu 1260°C selama 2 jam. Sehingga menyebabkan terjadinya penyusutan dimensi asli dikurangi menjadi 8,109 mm sepanjang, Lebar 0,994 mm dan tebal 0,425 mm. Dan pada penelitian yang dilakukan oleh Ni, dkk (2018) dengan paduan *Hypereutectic Al-Si* (20 wt.%). Bahan baku mengandung 83 wt.% bubuk logam dan persentase *binder* terdiri dari *high density polyethylene* (HDPE) (35 wt.%), *carnauba wax* (62 wt.%) dan *stearic acid* (3 wt.%). Mendapatkan kesimpulan bahwa pada proses *sintering* dengan suhu 550°C selama 3 jam dihasilkan Kerapatan relative 95,5%, kekerasan *Brinell* 58 HBW, dan kekuatan tarik 154 MPa.

Dengan berdasarkan pada penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, penelitian ini berfokus pada proses *sintering* dengan menganalisa pengaruh *temperature* dan *holding time* dan penambahan Sn terhadap cacat *shrinkage*. Dengan komposisi serbuk Aluminium (Al) 45%-wt dan *binder* (25%-wt plastik jenis PP (*polypropylene*), 28%-wt *paraffin wax* (PW), 2%-wt *stearic acid*). Metode yang digunakan pada penelitian ini menggunakan metode *taguchi*.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh variasi parameter *temperature*, *holding time*, dan penambahan Sn terhadap cacat *shrinkage* pada proses *sintering metal injection molding*?
2. Bagaimana kombinasi parameter yang paling optimum pada proses *sintering metal injection molding* dengan pengaruh *temperature*, *holding time*, dan penambahan Sn terhadap cacat *shrinkage*?

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang diterapkan untuk memudahkan analisa penelitian ini sebagai berikut:

1. *Grenpart* dan *brown part* dianggap homogen.
2. Mesin dan alat ukur yang digunakan pengambilan data dianggap telah terkalibrasi.
3. Tidak membahas cacat yang terjadi dalam proses injeksi dan *debinding*.
4. Tidak membahas struktur mikro yang terbentuk setelah proses *sintering*.
5. Tidak membahas proses perpindahan panas yang terjadi dalam proses injeksi molding.

1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian

1.4.1 Tujuan

Adapun Tujuan pada peneitian ini sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh *temperature*, *holding time* dan penambahan Sn pada proses *sintering metal injection molding*.
2. Mendapatkan kombinasi parameter yang paling optimum pada proses *sintering metal injection molding* terhadap cacat *shrinkage*.

1.4.2 Tujuan

Adapun Manfaat yang didapat dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Dapat mengetahui pengaruh penambahan Sn terhadap cacat *shrinkage* pada proses *sintering metal injection molding*.
2. Dapat menentukan parameter *temperature* dan *holding time* pada proses *sintering metal injection molding* yang lebih optimum.
3. Dapat mengatasi cacat *shrinkage* pada proses *sintering metal injection molding*.

1.5 Hipotesa

Pada penelitian ini dilakukan variasi *temperature*, *holding time* dan penambahan Sn pada proses *sintering metal injection molding*. Berdasarkan pada

penelitian-penelitian sebelumnya dapat ditarik sebuah hipotesa awal pada penelitian ini sebagai berikut:

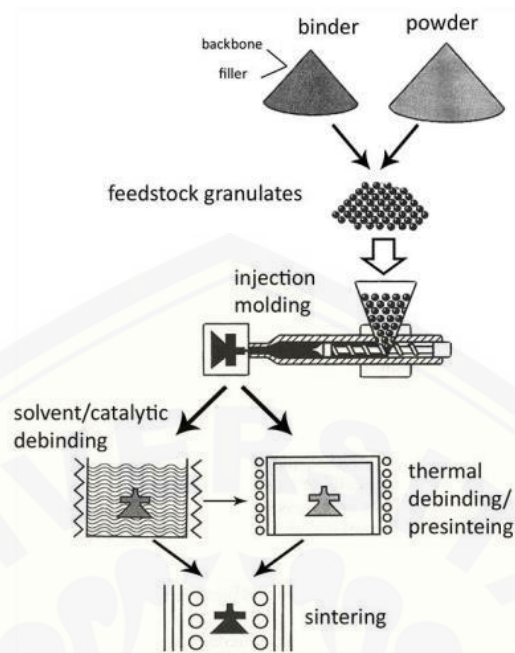
1. Semakin tinggi *temperature* operasional dan lama *holding time* pada proses *sintering* maka nilai persentase cacat *shrinkage* akan meningkat, karena perbedaan *temperature* dan *holding time* mengalami fase dekomposisi (kerusakan struktur) maka sisa *binder* yang terdapat di produk menghilang sehingga menyebabkan volume produk mengalami penurunan.
2. Penambahan Sn sangat berpengaruh terhadap pembentukan struktur menjadi lebih kuat. Semakin banyak penambahan Sn maka nilai persentase cacat *shrinkage* akan mengalami penurunan pada proses *sintering*, karena disebabkan penambahan Sn membantu pembentukan struktur lebih kuat akan menyebabkan persentase nilai cacat *shrinkage* yang terjadi semakin menurun.

BAB 2. TINJUAN PUSTAKA

2.1 *Metal Injection Molding*

Metal Injection Molding adalah suatu proses metode manufaktur untuk memproduksi komponen yang terbuat dari logam. Proses *metal injection molding* biasanya disebut dengan singkatan pendeknya MIM. MIM merupakan suatu teknologi produksi plastik dari *injection molding* dengan bahan baku yang terdiri dari polimer dan bahan anorganik. Anorganik komponen bahan baku dapat berupa logam atau keramik. Pembuatan komponen dengan menggunakan metode MIM dapat memungkinkan pembuatan produk yang rumit dan terperinci dengan kekuatan dan kekakuan tinggi. Produk yang dibuat dengan proses MIM memiliki kekuatan mekanis dan toleransi permukaan akhir yang lebih tinggi dari pada produk proses *die-Casting* (Engstrom, 2017).

Proses *metal injection molding* terdiri dari 4 proses yaitu *mixing*, *injection molding*, *debinding*, dan *sintering* dapat dilihat Gambar 2.1. Pertama-tama melakukan proses *mixing* yaitu proses pecampuran serbuk logam dengan *binder* yang menghasilkan *feedstock* sebagai bahan baku injeksi. *Feedstock* dimasukkan kedalam *hopper* mesin *injection molding*, kemudian *feedstock* dilelehkan dengan suhu tertentu lalu diinjeksi ke *mold* dengan tekanan tertentu (proses injeksi molding), hasil dari proses injeksi dinamakan *greenpart*. Untuk menghilangkan bindernya pada *greenpart* dilakukan proses *debinding* dengan 2 macam cara yaitu proses *solvent debinding* dan *thermal debinding*. Hasil dari proses *debinding* dinamakan *brownpart*, kemudian *brownpart* dilakukan proses *sintering* untuk memadatkan dan meningkatkan kekuatan dari serbuk logam. *Sintering* dilakukan pada suhu dibawah *temperature* lebur dari material. Setelah proses *sintering*, produk mengalami menyusutan, sehingga dimensi produk akan berkurang 12-20% tergantung dari komposisi *powder* (Virhdian, 2014).



Gambar 2.1 Proses MIM (Engstrom, 2017)

2.2 Feedstock

Feedstock merupakan peran sentral dalam proses *metal injection molding*. *Feedstock* adalah campuran paduan serbuk dan *binder* dicampur pada suhu tinggi menggunakan bantuan alat seperti pengestrusi, pengaduk atau *geser roll extruder*.

2.2.1. Powder

Powder merupakan salah satu bahan baku proses MIM yang berbentuk serbuk. Pada prinsipnya *powder* adalah serbuk apa pun dapat digunakan dalam produksi MIM selama memenuhi kriteria yaitu ukuran partikel bubuk harus kecil, Serbuk dan *polimer* menyatu dengan baik, kepadatan yang cukup tinggi dan memiliki suhu leleh cukup tinggi untuk tidak mengganggu proses *debinding* dan *sintering*. Beberapa contoh logam magnesium dan aluminium tidak banyak digunakan untuk umum karena suhu leleh rendah dan oksidasi yang kuat selama *sintering*. Paduan yang paling umum digunakan terdiri dari *stainless steel*, baja perkakas, tembaga, karbida disemen, *titanium* dan logam lainnya. (Engstrom, 2017).

a. Aluminium

Aluminium adalah logam yang memiliki kekuatan yang relatif rendah dan lunak serta memiliki ketahanan korosi yang baik, hantaran listrik yang baik dan sifat - sifat lainnya. Umumnya aluminium murni di campur dengan logam lainnya sehingga membentuk paduan logam aluminium. Aluminium murni dapat dicampur dengan Tembaga, Magnesium, Silikon, Mangan, dan unsur- unsur lainnya untuk membentuk sifat-sifat yang menguntungkan. Material ini dapat digunakan untuk keperluan rumah tangga maupun dalam pembuatan material teknik (Oktavano, 2019). Adapun sifat fisik dari aluminium dapat dilihat pada Tabel 2.1 .

Tabel 2.1 Sifat fisika dan kimia Aluminium

Sifat-sifat	Kemurnian Al (%)		Satuan
	99,996	> 99,0	
Massa jenis	26,989	2,71	(g/cm ³)/(20°C)
Titik Cair	660,2	653,657	(°C)
Panas jenis	0,2226	0,2297	(cal/g. °C)/(100°C)
Hantaran Listrik	64,94	59 (Dianil)	(%)
Tahanan listrik koefesien temperature	0,00429	0,0115	(°C)
Koefesien pemuaiian	23,86 x 10 ⁻⁶	23,5x10 ⁻⁶	(20-100%) / (mm ³)
Jenis Kristal, konstanta kisi	Fcc, a=4,013	Fcc, a=4,04	(kX)

Sumber: Oktavano, 2019

b. Timah (Sn)

Timah (Sn) merupakan logam berwarna putih keperakan, dengan kekerasan yang rendah, berat jenis 7,3 g/cm³, titik cair 232 °C, dan tahanan jenis 0,15 ohm mm²/m , serta mempunyai sifat konduktivitas panas dan listrik yang tinggi dengan kandungan unsur kimia dengan simbol 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 dan tahan terhadap korosi, (Sukandarrumidi, 2018).

2.2.2. Binder

Binder adalah komponen kedua dalam pembentukan *feedstock* dalam proses MIM. *Binder* biasanya terdiri dari beberapa jenis *polimer* yang berfungsi sebagai penjaga bentuk (*shape retention*) selama *debinding*, *low viscosity* material untuk menurunkan *viskositas*, dan sedikit zat aditif untuk meningkatkan *wetability* campuran. Tujuan dari *binder* untuk memberikan campuran bahan baku dengan sifat mudah dibentuk dan penahan bentuk selama proses injeksi. Bahan pengikat memainkan peran yang sangat menentukan keberhasilan proses MIM sering tergantung pada kinerja *binder*.

Pengikat proses MIM terdiri dari 3 komponen utama yaitu sebuah *polimer*, bahan pengisi dan *surfaktan*. Dari ketiga komponen ini, *polimer* dan bahan pengisi merupakan bagian pengikat terbesar. Bahan pengisi biasanya beberapa jenis dari lilin atau bahan seperti lilin. *Polimer* dan lilin biasanya membentuk proporsi yang sama pengikat. Dengan memiliki kedua komponen dengan jumlah yang kira-kira sama. Biasanya salah satunya komponen utama akan mencapai 20 hingga 80% dari *binder*. Perbedaan berat molekul struktur kimia menjaga *polimer* dan lilin dari pencampuran bersama, yang dan membantu komponen pengikat mengekstrak secara terpisah selama *debinding*. Perbedaan dalam pencairan titik suhu antara komponen adalah atribut utama untuk memfasilitasi selektif penghapusan komponen terpisah di seluruh proses MIM. Lilin cenderung rendah suhu leleh (<100 °C) sementara *polimer* cenderung lebih tinggi (> 100 °C). Ini menyiratkan bahwa fase lilin adalah yang pertama dari komponen utama yang dihilangkan, ini terjadi selama proses *debinding*. Kondisi *debinding* tidak cukup keras untuk polimer untuk terdegradasi. *Ekstraksi polimer* terjadi setelah pengisi dilepas dan bertepatan dengan *presintering* (Engström, 2017). Berikut ini beberapa contoh *binder* yang digunakan di MIM seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.2 .

Tabel 2.2 contoh binder yang digunakan pada proses MIM

Binder Material	η_0 , (Pa.s)	E, (kJ/mol)	T ₀ , (K)	Melting (°C)
Paraffin Wax	0,009	4,4	373	60
Carnauba Wax	0,021	12,3	383	84
PE Wax	0,81	19	383	>100
PP	420	33	503	140-200
Stearic Acid	0,007	-	383	74

Sumber: Afrilinda, 2017

a. *Polypropylene*

Polypropylene merupakan salah satu jenis komponen pengikat pada proses MIM. *Polypropylene* adalah sebuah *polimer termoplastik* yang dibuat oleh industri kimia dan digunakan sebagai pengemasan, berbagai tipe wadah, perlengkapan otomotif dan lain-lainya. *Polypropylene* mempunyai titik leleh yang cukup tinggi (190 – 200°C), sedangkan titik kristalisasinya antara 130 – 135°C. *Polypropylene* mempunyai ketahanan terhadap bahan kimia yang tinggi, tetapi ketahanan pukul (*impact strength*) nya rendah. *Polypropylene* dapat di buat dengan berbagai cara metode yaitu *injection molding*, *blow molding* dan *ekstruksi*. Berikut ini merupakan sifat-sifat *polypropylene* dapat dilihat pada Tabel 2.3 (Febryanto, 2013).

Tabel 2.3 Spesifikasi PP

Sifat-sifat	Satuan
Temperature leleh (°C)	130-170
Massa jenis (gr/cm ³)	0,92
Kristalinitas (%)	60
T _g (°C)	10
T _m (°C)	176
Tegangan Tarik (N/m ²)	30-40
Hardness (HB)	80

Sumber: Febryanto, 2013

b. *Paraffin Wax*

Paraffin wax disebut dengan lilin *paraffin* yang merupakan hasil samping dari pengolahan minyak bumi. *Paraffin wax* mempunyai titik lebur antara 50° - 60°C berentuk 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*. Dan fungsi dari *paraffin wax* pada MIM merupakan sebagai pengikat dan membentuk pada proses penginjekan.

c. *Carnauba Wax*

Carnauba wax adalah salah satu jenis lilin yang diperoleh dari sayur-sayuran atau tumbuh-tumbuhan. *Carnauba wax* memiliki titik leleh 50 °C - 60 °C. *Carnauba wax* sebagian besar terdiri dari *ester alifatik* (40% berat), *diester asam hidroksisinamat* (21,0% berat), *asam hydro-hidroksikarboksilat* (13,0% berat), dan alkohol lemak (12% berat). *Carnauba* dapat menghasilkan lapisan mengkilap dapat digunakan dalam lilin mobil, semir sepatu dan benang gigi.

d. *PE Wax*

Polyethylene Wax (PE Wax) atau lilin PE digunakan untuk memperkuat kualitas tertentu dari suatu materi, contohnya ketahanan terhadap goresan, abrasi, selip, kilat, dan memberi sifat perekat serta mudah menyebar. Bahan aditif ini memiliki beragam ukuran, dari partikel kecil, bubuk berukuran mikro, hingga ukuran pellet.

e. *Stearic Acid*

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

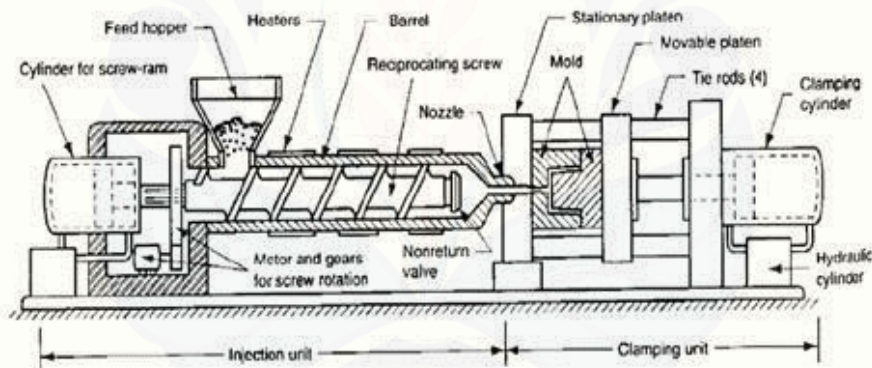
2.3 *Mixing*

Mixing merupakan proses pencampuran serbuk dan *binder* kemudian digranulasi menjadi *feedstock* dengan ukuran sekitar 5-7 mm. *Feedstock* digunakan sebagai bahan baku pada proses *injection molding*. Perbandingan jumlah serbuk dengan *binder* tergantung pada jenis *binder*, jenis logam, bentuk dan ukuran serbuk. Rasio perbandingan umumnya sekitar 60% serbuk logam membutuhkan sekitar 40% binder. Faktor yang dapat mempengaruhi proses *mixing* yaitu waktu *mixing*, *temperature mixing*, ukuran serbuk, bentuk dan distribusi serbuk, formulasi *binder*,

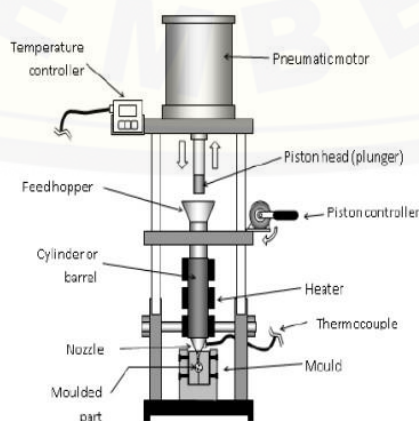
laju geser dan *powder loading*. Keseragaman ukuran serbuk menentukan kepadatan (*packing density*) yang sangat berpengaruh pada pengurangan *viskositas* (Afrilinda, 2017).

2.4 Injeksi Molding

Injeksi molding adalah metode pembuatan produk yang diinginkan dengan berbahan dasar plastik. Proses *injection molding* pada MIM bertugas untuk mengkonversi *feedstock* melalui cetakan menjadi bentuk produk yang diinginkan. Contoh produk *injeksi molding* sering ditemui dalam kehidupan sehari seperti botol plastik, wadah, casing computer, mainan anak-anak, dll. Proses *injeksi molding* dibagi menjadi 2 macam pada proses produksinya yaitu Mesin *Injeksi Molding Horizontal* dan Mesin *Injeksi Molding Vertikal* yang terlihat pada Gambar 2.2 dan 2.3.

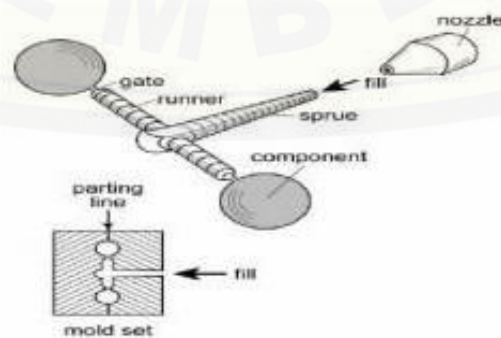


Gambar 2.2 Mesin *Injeksi Molding Horizontal* (Syarifuddin, 2017)



Gambar 2.3 Mesin *Injeksi Molding Vertikal* (Syarifuddin, 2017)

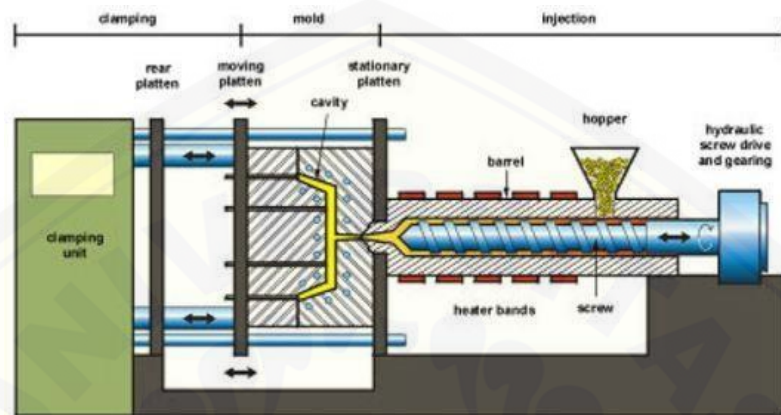
Proses *injeksi molding* meliputi tahapan pemanasan bahan baku untuk mengikat suhu leleh, memaksa bahan cair ke dalam rongga cetakan, memegang pada tekanan tinggi, lalu pendinginan dan injeksi dari bagian yang dicetak keluar dari rongga cetakan. Pada mesin *injeksi molding* tekanan injeksi, injeksi suhu, suhu cetakan, tekanan *holding*, kecepatan injeksi, waktu *holding* dan waktu pendinginan ditetapkan pada nilai yang diinginkan (Pachauri, 2016). Proses injeksi diawali dengan penuangan *feedstock* dimasukkan kedalam *hopper*. Selama proses injeksi *feedstock* disimpan di ruang *temperature* kamar sebelum masuk ke dalam *hopper*. *Hopper* sebagai tempat untuk memasukkan *feedstock* ke *barel* yang telah dipanaskan. Di dalam *barel* terdapat sebuah *sekrup* (*screw*) internal yang berfungsi mengaduk, mengompresi, dan melelehkan *feedstock*. Lelehan *feedstock* tersebut kemudian didorong ke dalam rongga cetak melalui *nozle* oleh *feeding screw*. *Feeding screw* harus dalam keadaan panas agar *feedstock* mencair dan teraduk untuk memastikan *homogenitas* dan tidak ada gelembung udara yang terperangkap. Pada daerah akhir *nozle*, *feedstock* yang meleleh sebelum mengisi rongga cetakan sampai penuh terlebih dahulu masuk melalui *sprue*, *runner* dan *gate* seperti yang terlihat pada Gambar 2.4 dengan melakukan tekanan pada mesin *injeksi molding*. Tekanan maksimum cetakan bervariasi tergantung dengan bentuk geometri, berkisar antara 1,4 Mpa - 60 MPa (200 - 8.500 psi). Dalam beberapa situasi, pencetakan dapat dilakukan pada tekanan rendah yaitu sekitar 0,3 MPa (45 psi). Setelah produk membeku cetakan dibuka dan produk mentah (*green part*) dikeluarkan dari mold base (Afrilinda, 2017).



Gambar 2.4 Bagian *sprue*, *runner* dan *gate* (Afrilinda, 2017)

2.4.1. Bagian-Bagian Mesin *Injeksi Molding*

Mesin *Injeksi Molding* memiliki 3 bagian utama yang terdiri dari *Injeksi Unit*, *Clamping Unit*, dan *Mold Unit* dapat dilihat pada Gambar 2.5 sebagai berikut:



Gambar 2.5 Bagian Mesin Injeksi Molding (Abdurokhman, 2012)

a. *Injeksi Unit*

Injeksi unit adalah salah satu bagian mesin *injeksi molding* untuk tempat mencairkan material dan proses injeksi material kedalam *mold*. Adapun bagian-bagian *injeksi unit* terdiri dari beberapa bagian sebagai berikut:

1. *Cylinder Screw Ram*

Cylinder Screw Ram berfungsi untuk mempermudah gerakan *screw* dengan menggunakan momen inersia sekaligus menjaga putaran *screw* tetap konstan, sehingga didapatkan tekanan dan kecepatan yang konstan saat dilakukan proses injeksi.

2. *Hooper*

Hooper adalah tempat untuk meletakkan bahan baku (bijih plastik) sebelum masuk ke *barrel*.

3. *Screw*

Screw adalah bagian yang mengatur aliran resin ke *mold*. *Screw* berfungsi untuk mengalirkan plastik dari *hooper* ke *nozzel*. Putaran *screw* akan menyebabkan bahan akan terkumpul di ujung *screw* sebelum diinjeksikan

Kemudian *screw* akan mundur selama beberapa saat, kemudian akan maju mendorong bahan yang telah dicairkan di dalam *barrel* menuju *nozzle*.

4. *Barrel*

Barrel adalah tempat *screw* dan selubung yang menjaga aliran plastik ketika dipanasi oleh heater, pada bagian ini juga terdapat heater untuk memanaskan plastik.

b. *Clamping Unit*

Clamping unit berfungsi untuk membuka dan menutup *mold* dan menjaga dengan memberikan tekanan pada penahan terhadap *mold* agar material yang diinjeksikan pada *mold* agar mencegah terjadinya *flash* selama proses pencetakan.

c. *Mold Unit*

Mold unit merupakan bagian terpenting pada bagian mesin *injection molding* , yang mempunyai fungsi utama yaitu untuk membentuk benda yang akan dicetak. *Mold* memiliki dua bagian utama dari *cavity side* dan *core side* .

2.4.2. Parameter Proses *Injeksi Molding*

Untuk memperoleh hasil produk dengan kualitas bagus, perlu mengatur beberapa parameter pada proses *injeksi molding* . Adapun parameter yang berpengaruh dalam proses *injeksi molding* sebagai berikut:

a. *Temperatur Leleh*

Temperature leleh merupakan batas temperature pada bahan baku mulai meleleh yang diberikan energi panas.

b. Batas Tekanan

Batas tekanan adalah tekanan yang diberikan pada *piston* untuk menekan bahan baku selama proses injeksi. Semakin rendah tekanan yang diberikan, maka bahan baku tidak mengisi kedalam cetakan. Sedangkan semakin tinggi yang diberikan, maka mengakibatkan bahan baku tersembur dari cetakan dan proses produksi tidak efisien.

c. *Holding Time*

Holding Time adalah waktu yang diukur dari saat temperatur leleh yang di-set telah tercapai hingga keseluruhan bahan baku yang ada dalam tabung pemanas benar-benar telah meleleh semuanya.

d. Waktu Penekanan

Waktu penekanan adalah waktu penahan pada tekanan *piston* yang mendorong bahan baku mengisi pada cetakan. Waktu penekanan ini sangat tergantung dengan besar kecilnya dimensi cetakan (*mold*). Makin besar ukuran cetakan makin lama waktu penekan yang diperlukan.

e. Kecepatan Injeksi

Kecepatan injeksi adalah kecepatan bahan baku yang keluar dari *nozzle* mengisi rongga cetakan. Hanya mesin-mesin tertentu yang dapat terukur kecepatannya.

2.5 *Debinding*

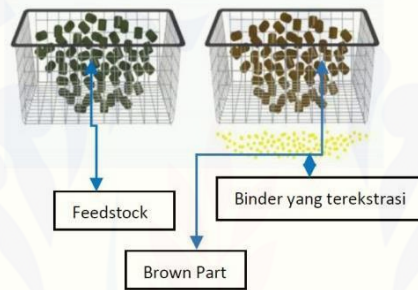
Debinding adalah proses melepaskan pengikat (*binder*) dari dalam produk (*greenpart*). Proses *debinding* merupakan langkah paling kritis dalam proses produksi MIM. Keberhasilannya bergantung pada seberapa hati-hati pengikat dilepas. Selama *debinding*, bagian *greenpart* yang dibentuk harus tahan tekanan yang dihasilkan oleh pengikat diekstraksi dari dalam bagian, sementara masih mempertahankan bentuknya (Engstrom, 2017). Pada proses *debinding* memiliki tiga macam metode yang digunakan sebagai berikut:

2.5.1. *Thermal Debinding*

Thermal Debinding adalah salah satu metode proses *debinding* dengan cara menguapkan *greenpart* dengan memanaskan dan menahannya dalam jangka waktu tertentu pada temperatur sedikit di atas temperatur dekomposisi komponen *binder* (pengikat) tersebut. *Thermal debinding* tidak dilakukan dengan pemanasan pada satu suhu tinggi karena dapat menyebabkan *binder* (pengikat) terdekomposisi menjadi karbon sehingga sulit dikeluarkan dari badan produk. (Afrilinda, 2017).

2.5.2. Solvent Debinding

Solvent Debinding adalah salah satu metode proses *debinding* dengan cara menggunakan larutan kimia untuk melepas pengikat pada *greenpart*. Jenis larutan kimia yang sering menggunakan pelarut larutan *etanol*, *hexane* dan *heptana* merupakan jenis larutan yang memiliki kelebihan yaitu ramah lingkungan dan rendah biaya investasi. Kelebihan pada *solvent debinding* adalah larutan dapat digunakan kembali pada proses selanjutnya. Penentuan *temperature* pada proses ini dapat mempengaruhi proses pelepasan pengikat secara maksimal dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Proses *Solvent Debinding* (Jaman, 2018)

2.5.3. Katalik Debinding

Katalik Debinding adalah salah satu metode proses *debinding* menggunakan kombinasi *debinding termal* dan pelarut mekanisme. Sistem ini bekerja dengan memecah rantai *polimer primer* pengikat dengan bantuan katalis. Katalis adalah bahan kimia yang dirancang untuk menurunkan suhu di mana *polimer* dipecah kembali ke bentuk monomernya. *Temperature* selama proses *debinding* ini lebih rendah dari suhu pelunakan *binder*, untuk sebagian besar *polimer* sekitar 120°C. Jumlah katalis yang digunakan relative rendah dan dalam bentuk uap di dalam ruang *debinding*. Proses *debinding* katalitik lebih menyerupai metode *solvent debinding* dari pada *thermal Debinding* (Engstrom, 2017).

2.6 Sintering

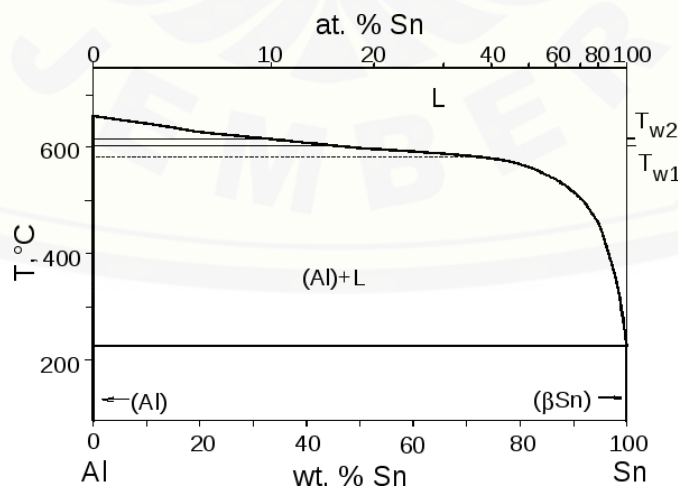
Sintering adalah proses yang memberikan kekuatan pada bagian *metal injection molding*. Proses *sintering* merupakan proses pemanasan yang bertujuan

untuk membentuk ikatan atomik antar partikel. Proses *sintering* akan mengubah produk yang kaku menjadi produk yang padat. Setelah *sintering* bagian yang diproduksi akan menunjukkan kekuatan, kekerasan, keuletan, ketahanan, konduktivitas dan bahkan kemiripan visual dengan bagian yang diproduksi oleh metode pengerjaan logam konvensional (Engstrom, 2017).

Proses *sintering* menghasilkan produk dengan densitas tinggi (95-99%), dengan porositas pada produk mencapai 1-5%, dan dengan penyusutan ukuran yang cukup besar terjadi pada proses *sintering* yaitu sekitar 12-20%. Suhu pada proses *sintering* tergantung jenis *feedstock* yang digunakan. *Sintering* dilakukan pada *atmosfer* tertentu dengan mempertimbangkan kemungkinan terjadinya proses yang timbul seperti oksidasi dan reduksi. Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi pada kualitas produk pada proses *sintering* adalah tingkat pemanasan, waktu *sintering*, *temperature sintering* dan *atmosfer sintering*. Faktor-faktor ini dapat mempengaruhi struktur mikro, ukuran, porositas, tingkat kepadatan akhir dan kandungan nitrogen akhir dari produk MIM (Afrilinda, 2017).

2.7 Diagram Fasa Al-Sn

Pada diagram fasa Al-Sn terdapat tiga fasa yaitu liquid (L), Aluminium + Liquid (Al+L), dan Aluminium + Timah (Al+Sn). Kelarutan unsur Sn dalam paduan aluminium terdapat pada suhu 228,3°C dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Diagram fasa Al-Sn (Straumal,2000)

2.8 Cacat *Shrinkage*

Cacat *shrinkage* adalah salah satu cacat yang terjadi pada proses MIM dimana produk yang dihasilkan mengalami penyusutan sehingga produk mengalami perubahan volume ataupun dimensi. *Shrinkage* biasa disebut dengan penyusutan, adanya penyutan sering ditandai dengan muncul perubahan geometri pada produk. Jumlah susut adalah spesifik bahan baku, dan terutama ditentukan oleh pemuatan padatan. Dengan bahan baku khas yang terdiri sekitar 60% bubuk padat dan 40% pengikat volume, susut sekitar 15% diharapkan. Bahan baku dengan volume bubuk lebih rendah misalnya 40%, susut lebih dekat ke 25% lebih realistis.

Pada proses *metal injection molding*, proses *mixing*, jenis serbuk logam dan komposisi *binder* mempengaruhi besaran volume cacat *shrinkage* pada produk yang dihasilkan. Hal ini disebabkan pada proses *mixing* antara *binder* dan serbuk logam bertujuan agar pada saat proses injeksi produk dalam keadaan homogen. Penambahan volume serbuk logam yang semakin meningkat pada proses *mixing* dapat mengurangi volume cacat *shrinkage* (Anggara, 2019).

Nilai cacat *shrinkage* biasanya dinyatakan dalam satuan persen, sehingga nilai persentase penyusutan (*shrinkage*) secara kualitatif dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.1 (Krisnawan dkk, 2012).

$$S = \frac{V_1 - V_2}{V_1} \times 100 \% \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan:

S = Nilai *Shrinkage* (%)

V_1 = Volume Sebelum *Sintering* (mm³)

V_2 = Volume Sesudah *Sintering* (mm³)

2.9 3D Scanner

3D *Scanner* adalah sebuah perangkat yang mampu menganalisis sebuah objek tiga dimensi dan mengumpulkan data yang dimungkinkan untuk disusun menjadi sebuah model tiga dimensi. Tujuan dari 3D *scanner* biasanya untuk membuat *point cloud* untuk sampel *geometris* pada permukaan objek. 3D *scanner* memiliki kelebihan utama dari pada *scanner* biasanya yaitu mampu menghasilkan gambar

3D. Ini dimungkinkan dengan membentuk *point cloud geometris*, sebuah kumpulan titik dalam koordinat tiga dimensi, dari permukaan objek.



Gambar 2.8 3D Scanner

3D Scanner memiliki 2 jenis tipe scanner berdasarkan proses kerjanya yaitu *contact 3D scanner* dan *non contact active 3D scanner*.

2.9.1 Contact 3D Scanner

Sistem *Contact 3D scanner* ini mengumpulkan data dari permukaan sebuah objek tiga dimensi dengan cara melakukan *contact* langsung. Sistem kerjanya mirip pada saat seorang yang sedang memejamkan mata atau dalam lingkungan yang gelap mereka-reka sebuah objek dengan merabanya.

Kelebihan dari scanner ini memiliki hasil presisi yang cukup teliti. Sedangkan kekurangan dari scanner ini diantaranya adalah obyek mengalami perubahan bentuk atau bahkan merusaknya dan scanning yang relatif lambat. Salah satu contoh *contact 3D scanner* adalah *Coordinate Measuring Machine (CMM)* dan *Computer Generated Imagery (CGI)*.

2.9.2 Non Contact Active 3D Scanner

Sistem *Non Contact Active 3D Scanner* adalah salah satu metode scanner 3D yang paling banyak jenisnya. Metode ini tidak membutuhkan kontak secara langsung dengan objek yang di-scan. Saat memindai sebuah objek, sistem scanner akan memancarkan sinar ataupun radiasi lain yang akan mendeteksi permukaan objek. Emisi yang dipancarkan bisa berupa cahaya, *ultrasound*, ataupun x-ray (sinar x).

Adapun metode-metode yang digunakan pada non contact active 3D scanner adalah sebagai berikut:

- a. *Time-of-flight*
- b. *Triangulation*
- c. *Conoscopic Holography*
- d. *Structured light*
- e. *Modulated light*
- f. *Non-Contact Passive 3D Scanner*
- g. *Stereoscopic*
- h. *Silhouette*

2.10 Metode Taguchi

Metode *taguchi* adalah suatu metodologi baru dalam bidang teknik yang bertujuan untuk memperbaiki kualitas produk dan proses pelaksanaan dalam waktu yang bersamaan menekan biaya produksi dan sumber daya seminimal mungkin. Metode ini berupaya menjadikan kualitas produk lebih baik dengan tidak sensitif terhadap faktor gangguan seperti material, perlengkapan manufaktur, tenaga kerja manusia dan kondisi operasional. Metode taguchi ini disebut dengan perancangan kokoh (*robust design*), karena metode ini lebih memperhitungkan terhadap faktor gangguan (Soejanto, 2009).

Metode *taguchi* memperlihatkan pendekatan dengan menggunakan pendekatan desai eksperimen yang bertujuan untuk sebagai berikut:

- a. Merancang produk atau proses sehingga kualitasnya kokoh terhadap lingkungan.
- b. Merancang dan mengembangkan produk sehingga kualitasnya kokoh terhadap variasi komponen.
- c. Meminimalisir variasi disekitar target.

Keunggulan dari metode *taguchi* ini dengan metode lainnya antara lain lebih efisien karena melibatkan banyak faktor dan jumlah untuk melaksanakan penelitian, kualitas produk yang lebih kokoh dan konsisten terhadap faktor yang tidak dapat dikendalikan, dan menghasilkan respon yang lebih optimum. Sedangkan kekurangan yang dimiliki metode ini dengan metode lain diantaranya

adalah banyak faktor dan interaksi yang digunakan, sehingga menyebabkan pengaruh faktor utama dan pengaruh interaksi yang cukup signifikan (Soejanto, 2009).

Metode *taguchi* memiliki kepresisian yang tinggi terhadap perancangan desain dan membutuhkan analisa terhadap pengaruh interaksi yang signifikan. Sehingga, rancangan dan pemilihan percobaan harus dipilih secara hati-hati dan sesuai dengan tujuan percobaan.

2.10.1 Desain Eksperimen

Pada umumnya desain eksperimen metode *taguchi* terdapat tiga macam tahapan utama diantaranya adalah tahap perencanaan, tahap pelaksanaan, dan tahap analisa (Soejanto, 2009).

a. Tahap Perencanaan

Tahap Perencanaan merupakan tahap terpenting dalam tahapan eksperimen *taguchi*. Tahap perencanaan meliputi beberapa tahap yang dilakukan untuk menkonsep eksperimen *taguchi* diantaranya sebagai berikut:

1. Perumusan Masalah

Pada tahap ini merupakan langkah pertama untuk merumuskan permasalahan yang di teliti pada eksperimen. Perumusan masalah menentukan faktor parameter yang berpengaruh, menentukan variasi perlakuan yang dikendalikan dan mengetahui respons yang di ukur (Soejanto, 2009).

2. Tujuan Eksperimen

Pada tahap ini, mengetahui jawaban dari perumusan masalah dengan mencari sebab yang mengakibatkan pada masalah yang kita amati, sehingga menentukan kombinasi dan komposisi yang lebih optimum (Soejanto, 2009).

3. Penentuan Variabel Tak Bebas

Variabel tak bebas sering disebut dengan variabel respon merupakan variabel yang perubahannya tergantung pada variabel lainnya. Dalam proses eksperimen harus menentukan variabel tak bebas agar lebih jelas yang akan diselidiki oleh peneliti. Variabel tak bebas memiliki karakteristik kualitas yang terdiri dari tiga kategori yaitu karakteristik yang dapat diukur, karakteristik atribut, dan karakteristik dinamik (Soejanto, 2009).

4. Identifikasi Faktor-faktor (Variabel Bebas)

Adalah Variabel yang tidak dipengaruhi oleh variabel lain. Pada tahap ini mengidentifikasi dan menentukan terhadap faktor-faktor apa saja yang mempengaruhi variabel respon. Metode yang digunakan untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang berpengaruh variabel respon diantaranya adalah *Brainstorming*, *Flowchart*, dan Diagram Sebab-Akibat (Soejanto, 2009).

5. Pemisahan Faktor Kontrol dan Faktor Gangguan

Faktor kontrol dan faktor gangguan dalam metode *taguchi* perlu diidentifikasi dengan jelas sebab pengaruh antar kedua faktor tersebut berbeda. Faktor kontrol adalah faktor yang mempengaruhi pada produksi yang dapat dikendalikan. Sedangkan, faktor gangguan adalah faktor yang tidak dapat dikendalikan oleh peneliti seperti suhu lingkungan dan faktor mesin (Soejanto, 2009).

6. Penentuan Jumlah Level dan Nilai Level Faktor

Penentuan jumlah level dan nilai level faktor perlu diperhatikan karena menentukan ketelitian hasil eksperimen. Makin banyak jumlah level yang diteliti maka hasil eksperimen lebih teliti karena data yang didapat lebih banyak, tetapi berpengaruh pada biaya eksperimen (Soejanto, 2009).

7. Perhitungan Derajat Kebebasan

Perhitungan derajat kebebasan bertujuan untuk menghitung jumlah minimum eksperimen yang harus dilakukan untuk menyelidiki faktor yang diteliti. Bentuk Persamaan umum dari perhitungan derajat kebebasan matrik *orthogonal* (V_{oA}) dalam menentukan jumlah eksperimen yang diteliti (Soejanto, 2009) adalah sebagai berikut :

$$V_{oA} = (\text{Banyak eksperimen} - 1) \dots \dots \dots (2.2)$$

Derajat kebebasan faktor dan level, (V_{fl}) untuk menghitung jumlah level yang diuji pada sebuah faktor dengan persamaannya adalah sebagai berikut:

$$V_{fl} = (\text{Banyak level} - 1) \dots \dots \dots (2.3)$$

Untuk mengetahui derajat kebebasan dari sebuah matriks eksperimen atau total derajat kebebasan dengan bentuk persamaannya sebagai berikut: Total $V_{fl} = (\text{Banyak faktor}) \times (V_{fl}) \dots \dots \dots (2.4)$

8. Pemilihan Matriks *Ortogonal*

Matriks *orthogonal* adalah suatu matriks yang elemennya disusun menurut baris dan kolom, dapat dilihat Tabel 2.4. Baris merupakan kombinasi level dari faktor dalam eksperimen. Sedangkan, Kolom adalah faktor yang tidak dapat diubah dalam eksperimen. Pemilihan matriks orthogonal yang sesuai, diperlukan suatu persamaan (Soejanto, 2009) adalah sebagai berikut:

$$La (b^c) \dots \dots \dots (2.5)$$

Keterangan :

L = Rancangan bujursangkar latin

a = Banyak baris atau eksperimen

b = Banyak level

c = Banyak kolom/faktor

Tabel 2.4 Contoh Tabel Matriks *Ortogonal* $L_9(3^3)$

Eksperimen	Faktor Kendali			Replikasi eksperimen			Jumlah	Rata-Rata
	A	B	C	I	II	III		
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					

Sumber: (Soejanto, 2009)

Matriks *ortogonal* memiliki beberapa standart untuk memilih level eksperimen berdasarkan derajat kebebasan. Berikut ini adalah beberapa jenis Standatr matriks orthogonol adalah:

a) Standar dengan 2 Level

Matriks ortoganal standar dengan 2 level memiliki beberapa pilihan matriks orthogonol seperti dalam Tabel 2.5 .

Tabel 2.5 *Matriks Ortogonal* Standar dengan 2 Level

<i>Matriks Ortogonal Standar dengan 2 Level</i>					
$L_4 (2^3)$	$L_8 (2^7)$	$L_{12} (2^{11})$	$L_{16} (2^{15})$	$L_{32} (2^{31})$	$L_{64} (2^{63})$

Sumber: (Soejanto, 2009)

b) Standar dengan 3 Level

Matriks ortoganal standar dengan 3 level memiliki beberapa pilihan matriks orthogonol seperti dalam Tabel 2.6.

Tabel 2.6 *Matriks Ortogonal* Standar dengan 3 Level

<i>Matriks Ortogonal Standar dengan 3 Level</i>		
$L_9 (3^4)$	$L_{27} (3^{13})$	$L_{81} (3^{40})$

Sumber: (Soejanto, 2009)

c) Standar dengan 4 Level

Matriks ortoganal standar dengan 4 level memiliki beberapa pilihan matriks orthogonol seperti dalam Tabel 2.7 .

Tabel 2.7 *Matriks Ortogonal* Standar dengan 4 Level

<i>Matriks Ortogonal Standar dengan 4 Level</i>	
$L_{16} (4^5)$	$L_{64} (4^{21})$

Sumber: (Soejanto, 2009)

d) Standar dengan 5 Level

Matriks ortoganal standar dengan 5 level memiliki beberapa pilihan matriks orthogonol seperti dalam Tabel 2.8 .

Tabel 2.8 *Matriks Ortogonal Standar* dengan 5 Level

<i>Matriks Ortogonal Standar dengan 5 Level</i>
$L_{25} (5^6)$

Sumber: (Soejanto, 2009)

e) Standar dengan Level Gabungan

Matriks ortogonal standar dengan level gabungan memiliki beberapa pilihan matriks orthogonal seperti dalam Tabel 2.9 .

Tabel 2.9 *Matriks Ortogonal Standar dengan Level Gabungan*

<i>Matriks Ortogonal Standar dengan Level Gabungan</i>					
$L_{18} (2^1 \times 3^7)$	$L_{32} (2^1 \times 4^9)$	$L_{36} (2^{11} \times 3^{12})$	$L_{36} (2^3 \times 3^{13})$	$L_{54} (2^1 \times 3^{25})$	$L_{50} (2^1 \times 5^{11})$

Sumber: (Soejanto, 2009)

b. Tahap Pelaksanaan

Tahap Pelaksana merupakan tahap yang terpenting selanjutnya setelah tahapan Perencanaan. Tahap Pelaksana meliputi beberapa tahap yang dilakukan untuk menkonsep eksperimen *taguchi* diantaranya sebagai berikut:

1. Jumlah Replikasi

Replikasi adalah proses pengulangan kembali pada eksperimen dengan perlakuan yang sama, sehingga mendapatkan ketelitian yang lebih tinggi dan mengurangi tingkat kesalahan (Soejanto, 2009).

2. Randomisasi

Randomisasi adalah percobaan yang digunakan untuk meratakan pengaruh dari faktor faktor yang tidak dapat dikendalikan pada unit eksperimen, seperti menurunnya daya mesin dan kelelahan operator (Soejanto, 2009).

c. Tahap Analisa

Tahap analisa dilakukan untuk pengumpulan data dan pengolahan data yaitu meliputi pengumpulan data, pengaturan data, perhitungan, dan penyajian data dalam suatu *layout* tertentu dengan desain suatu eksperimen yang dipilih. Metode *taguchi* dibutuhkan data analisa dan pengolahan data untuk mengetahui

factor-faktor yang signifikan yang berpengaruh. Dalam tahap analisa dilakukan perhitungan dan pengujian data dengan statistik diantaranya sebagai berikut:

1. Analisis Varians (ANOVA)

Anova adalah teknik analisa yang digunakan untuk memperkirakan nilai secara kuantitatif pengaruh dari setiap faktor pada semua pengukuran respon. Model analisa menggunakan analisa varians dua arah yang terdiri dari perhitungan derajat kebebasan, jumlah kuadrat (*Sum of Square*), rata-rata jumlah kuadrat dan *F-rasio* (Soejanto, 2009). Persamaan Anova dijelaskan seperti pada persamaan berikut :

Menentukan jumlah kuadrat :

$$SS_A = \left[\sum_{i=1}^{K_A} \left(\frac{A_i^2}{n_{Ai}} \right) \right] - \frac{T^2}{N} \dots\dots\dots(2.6)$$

Keterangan:

- SS_A = Jumlah kuadrat
- K_A = Jumlah level faktor
- A_i = Level ke i faktor A
- n_{Ai} = Jumlah percobaan level ke i faktor A
- T = Jumlah seluruh nilai data
- N = Banyak data keseluruhan

Menentukan rata-rata kuadrat (*mean square*):

$$MS_a = \frac{SS_a}{V_a} \dots\dots\dots(2.7)$$

Jumlah kuadrat total:

$$SS_T = \sum y^2 \dots\dots\dots(2.8)$$

Jumlah kuadrat karena rata-rata:

$$S_m = n \times \bar{y}^2 \dots\dots\dots(2.9)$$

Menentukan jumlah kuadrat error :

$$SS_{faktor} = SS_A + SS_B + SS_C \dots\dots\dots(2.10)$$

$$SS_e = SS_T - SS_M - SS_{faktor} \dots\dots\dots(2.11)$$

Menghitung *F-rasio* :

$$F_{ratio} = \frac{MS_A}{MS_e} \dots\dots\dots(2.12)$$

2. Uji F

Uji F adalah membandingkan variasi yang disebabkan masing-masing faktor dan variasi eror. Variasi eror adalah variasi setiap individu dalam pengamatan yang timbul karena faktor yang tidak dapat dikendalikan.

$$F_{\text{sumber}} = \frac{\text{variansi perlakuan} + \text{variansi error}}{\text{variansi error}} \dots\dots\dots(2.13)$$

Dimana nilai F sumber tersebut dibandingkan dengan nilai F dari tabel pada harga α tertentu (Soejanto, 2009). Hipotesa pengujian dalam suatu percobaan adalah sebagai berikut:

H_0 : Tidak ada pengaruh variasi perlakuan ($\mu_1 = \mu_2 = \mu_3$)

H_1 : Ada pengaruh variasi perlakuan ($\mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$)

Apabila Nilai F hitung lebih kecil dari nilai F tabel ($F_{\text{hitung}} < F_{\text{tabel}}$), maka H_0 diterima. Namun jika Nilai F hitung lebih besar dari nilai F tabel ($F_{\text{hitung}} > F_{\text{tabel}}$), maka H_1 ditolak.

3. Strategi Pooling UP

Adalah metode yang dirancang *taguchi* untuk mengestimasi variasi eror pada anova. Sehingga, menyebabkan estimasi dihasilkan lebih baik, karena strategi ini akan mengumpulkan beberapa variasi eror dari faktor yang kurang berarti. Strategi Pooling UP memaksimalkan jumlah kolom yang dipertimbangkan signifikan, sehingga keputusan signifikan faktor dapat digunakan pada percobaan selanjutnya (Soejanto, 2009).

4. Rasio S/N

Rasio S/N adalah metode yang dirancang untuk transformasi pengulangan untuk mengetahui karakteristik kualitas produk, sehingga penggunaan rasio S/N untuk mengetahui level faktor mana yang berpengaruh pada eksperimen (Soejanto, 2009).. Terdapat 3 karakteristik kualitas pada metode rasio S/N sebagai berikut:

a) Semakin Kecil, Semakin Baik

Adalah Karakteristik kualitas produk dengan batas nilai 0 dan tidak nilai negative. Nilai yang diinginkan adalah nilai yang semakin kecil atau mendekati nol. Perhitungan dapat menggunakan persamaan dibawah ini (Soejanto, 2009).

$$S/N \text{ Ratio} = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right] \dots\dots\dots(2.14)$$

Dimana:

N = Total pengulangan suau trial

b) Semakin Besar, Semakin Baik

Adalah Karateristik kualitas produk dengan nilai tak terbatas. Nilai yang diinginkan adalah nilai yang semakin besar. Perhitungan dapat menggunakan persamaan (Soejanto, 2009).

$$S/N \text{ Ratio} = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right] \dots\dots\dots(2.15)$$

c) Tertuju Pada Nilai tertentu

Adalah Karateristik kualitas produk dengan nilai yang mendekati target yang telah ditentukan. Perhitungan dapat menggunakan persamaan (Soejanto, 2009).

$$S/N \text{ Ratio} = -10 \log Ve \dots\dots\dots(2.16)$$

$$S/N \text{ Ratio} = -10 \log \left[\frac{vm - ve}{nve} \right] \dots\dots\dots(2.17)$$

2.10.2 Interpretasi Hasil Eksperimen

Adapaun tahapan yang dilakukan dalam interpretasi adalah sebagai berikut:

a. Persen Kontribusi

Persen Kontribusi adalah fungsi dari jumlah kuadrat (SS) dari masing- masing faktor yang signifikan. Menghitung nilai persen kontribusi dapat dijelaskan pada persamaan rumus dibawah ini (Soejanto, 2009).

$$SA' = SA - vA.Ve \dots\dots\dots(2.18)$$

Dimana:

SA = Jumlah kuadrat deviasi target

SA' = Jumlah kuadrat sesungguhnya dari faktor A

vA = Derajat kebebasan A

Ve = Varian

Jadi perhitungan nilai persen kontribusi adalah:

$$\rho = \frac{SS'A}{SS_t} \times 100\% \dots\dots\dots(2.19)$$

Apabila nilai persen kontribusi error $\leq 15\%$ artinya tidak ada faktor yang berpengaruh terabaikan. Sedangkan nilai persen kontribusi error $\geq 50\%$ artinya terdapat faktor yang berpengaruh terabaikan.

b. Interval Kepercayaan

Interval kepercayaan merupakan harga taksiran yang mungkin dapat dicapai dengan kondisi yang telah ditentukan. Harga taksiran untuk menaksirkan harga optimum yang diperoleh dari faktor dan taraf. Berikut ini merupakan beberapa perhitungan nilai interval kepercayaan dibawah ini (Soejanto, 2009).

1) Interval Kepercayaan untuk Level Faktor (Cl_1)

$$Cl_1 = \sqrt{\frac{F_{\alpha,1,ve} \times MSe}{n}} \dots\dots\dots(2.20)$$

$$\mu Ak = \bar{A}_k \pm Cl_1 \dots\dots\dots(2.21)$$

$$\bar{A}_k - Cl_1 \leq \mu Ak + Cl_1 \dots\dots\dots(2.22)$$

Keterangan:

- $F_{\alpha,1,ve}$ = Rasio F
- A = Resiko
- V_1 = 1
- V_e = Derajat kebebasan *error*
- MS_e = Rata-rata kuadrat *error*
- N = Jumlah yang diuji pada suatu kondisi
- μAk = Dugaan rata-rata faktor A pada 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 (Cl_2)

$$Cl_2 = \sqrt{F_{\alpha,1,ve} \times MSe \times \left(\frac{1}{n_{eff}}\right)} \dots\dots\dots(2.23)$$

$$n_{eff} = \frac{\text{Jumlah total eksperimen}}{\text{jumlah derajat kebebasan dalam perkiraan rata-rata}} \dots\dots(2.24)$$

3) Interval Kepercayaan untuk Memprediksi Eksperimen Konfirmasi (Cl_3)

$$Cl_3 = \sqrt{F_{\alpha,1,ve} \times MSe \times \left(\frac{1}{n_{eff}} + \frac{1}{r}\right)} \dots\dots\dots(2.25)$$

Keterangan:

R = Jumlah sampel pada percobaan konfirmasi dan $r \neq 0$

MSe = Derajat bebas varian kesalahan *pooling*

n_{eff} = Jumlah pengulangan efektif



BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian dan Rancangan Penelitian

Jenis penelitian yang diterapkan adalah jenis ekperimental analisa untuk mengetahui pengaruh variasi pada proses *Sintering Metal Injection Molding* (Al-pp) terhadap cacat *shrinkage* spesimen uji tarik. Rancangan penelitian menggunakan penelitian *faktorial*.

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Waktu penelitian ini dijadwalkan mulai bulan Maret - Mei 2020. Tempat penelitian dilakukan di Laboratorium Kemasan Fakultas Teknik Universitas Jember.

3.3 Alat dan Bahan

3.3.1. Alat

Adapun alat yang diperlukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mesin *Injection Moulding* dengan tipe *pneumatik* yang memiliki *spesifikasi* sebagai berikut:

Model Mesin	: <i>Injection Moulding tipe pneumatic</i>
Dimensi	: 550 mm x 500 mm x 1060 mm
Tekanan Kompresor	: 8 Bar
Tegangan Listrik	: 220 volt / 50 Hz / 600 watt
<i>Temperature Heater</i>	: min 20°C – max 450°C

2. Kompor Listrik yang memiliki *spesifikasi* sebagai berikut:

Dimensi	: 235 mm x 300 mm x 98 mm
Tegangan Listrik	: 220 volt / 50 Hz / 300 - 600 watt

3. Peralatan Ukur

Adapun Peralatan ukur yang digunakan pada penelitian ini sebagai berikut:

- a) *Thermocontrol*

Thermocontrol digunakan sebagai mengontrol *temperature heater* kompor listrik, agar temperaturnya sesuai.

b) *Stopwatch*

Stopwatch digunakan sebagai mengukur waktu *holding time* pada saat proses *debinding* dan *sintering*.

c) Timbangan Digital

Timbangan Digital digunakan sebagai mengukur persentase berat komposisi material yang digunakan.

4. *3D Scanner*

3D Scanner digunakan sebagai alat pemindai spesimen uji tarik sebelum dan sesudah proses *sintering*.. *3D Scanner* yang digunakan memiliki *spesifikasi* sebagai berikut:

<i>Model</i>	: <i>Einscan-SE</i>
<i>Type</i>	: <i>3D Scanner</i>
<i>Input Voltage</i>	: DC= 12 V, 3.3 A
<i>Manufacturer</i>	: <i>Shining 3D Tech Co., Ltd.</i>
<i>Single Shot Accuracy</i>	: ≤ 0.1 mm
<i>Minimum Scan Volume</i>	: 30 mm x 30 mm x 30 mm
<i>Maximum Scan Volume</i>	: 700 mm x 700 mm x 700 mm
<i>Camera resolution</i>	: 1.3 <i>Mega Pixels</i>
<i>Stand-off Distance</i>	: 290 ~ 480 mm
<i>Graphic Card</i>	: <i>Nvidia series;Graphics memory > 1G</i>
<i>Computer Requirements</i>	: USB = 1 x USB 2.0 or 3.0; OS = Win7, Win8, Win10 (64 bit); CPU= Dual-core i5 ; RAM =8G
<i>Dimension</i>	: 570x210x210 mm
<i>Power Supply</i>	: 40 w
<i>Load Capacity of Turntable</i>	: 5 kg

5. *Software Autodesk Meshmixer*

Software ini digunakan untuk mengetahui volume spesimen sebelum dan sesudah proses *sintering* yang telah dilakukan proses *3D Scanner*.

6. Mesin *Furnace*

Digunakan sebagai proses *sintering* memiliki *spesifikasi* sebagai berikut :

Model NDI	: LF 5.2
Watt	: 3 KW
Amper	: 13.6 A
Seri	: 10 2015
Volt	: 220 v
Phase	: 1

3.3.2. Bahan

Adapun alat yang diperlukan pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Serbuk Aluminium (Al)

Spesifikasi karakteristik sebagai berikut:

Assay (<i>complexometric</i>)	: 90.0 %
Heavy metals (<i>as Pb</i>)	: 0.03 %
As (<i>Arsenic</i>)	: 0.0005 %
Fe (<i>Iron</i>)	: 1.0 %
Fat	: <i>Passes test</i>

2. Serbuk Timah (Sn)

Spesifikasi karakteristik sebagai berikut:

Kemurnian	: 99,9404 %
Berat Jenis	: 7,3 g/cm ³
Titik Cair	: 232°C

3. *Binder*

Binder yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari :

a) *Poplypropelene (PP)*

Spesifikasi karakteristik sebagai berikut:

Titik Leleh	: 190 °C – 200 °C
Titik Lebur	: 130 °C – 135 °C
Densitas	: 0,92 gr/cm ³

b) Parafin Wax (PW)

Spesifikasi karakteristik sebagai berikut:

Titik Lebur : 50 °C – 60 °C

c) Stearic Acid (SA)

Spesifikasi karakteristik sebagai berikut:

Titik Lebur : 69 °C

4. Larutan Heksana

Spesifikasi Sifat-sifatnya sebagai berikut:

Titik Lebur : -95 °C

Titik Didih : 69 °C

Densitas : 0,6548 gr/mL

3.4 Prosedur Penelitian

Adapun prosedur penelitian ini dilakukan sebagai berikut:

- a. Mempersiapkan alat dan bahan
- b. Melakukan penimbangan *feedstock* serbuk aluminium, variasi serbuk Sn, dan *binder* (plastik PP, *paraffin wax*, dan *stearic acid*) yang telah direncanakan.
- c. Melakukan proses *mixing feedstock*.
- d. Membersihkan *mold* base kotoran sisa-sisa bahan dari hasil pengerjaan sebelumnya.
- e. Mencetak *greenpart* menggunakan mesin *injection molding* dengan parameter yang ditetapkan sebanyak 27 buah.
- f. Hasil *greenpart* injeksi dilakukan proses *debinding* dengan larutan *heksana* untuk menghilangkan *binder* pada *greenpart*.
- g. Mengatur suhu kompor listrik dan memasukkan larutan heksana kedalam wajan.
- h. Masukkan *greenpart* kedalam wajan yang telah dipanaskan pada suhu 60°C dalam waktu 3 jam di rendam.
- i. Hasil *greenpart* dari proses *debinding* dilakukan proses pemindaian dengan menggunakan *3d scanner* sebanyak 27 buah.

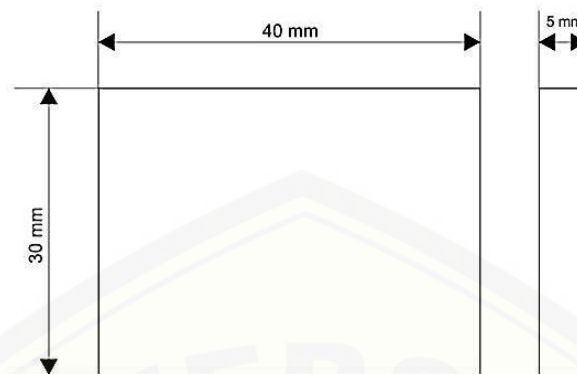
- j. Hasil *scanner* di lihat dengan menggunakan aplikasi *Software Autodesk Meshmixer* untuk mengetahui nilai volume pada *greenpart* sebelum proses *sintering*.
- k. Melakukan proses *sintering* pada *greenpart* yang telah dilakukan proses *debinding* dan proses *scanner* dengan parameter *temperature* dan *holding time* yang telah divariasikan.
- l. Hasil *greenpart* dari proses *sintering* dilakukan proses pemindaian kembali dengan menggunakan *3d scanner* sebanyak 27 buah. Dan hasil *scanner* di lihat dengan menggunakan aplikasi *Software Autodesk Meshmixer* untuk mengetahui nilai volume pada *greenpart* yang telah dilakukan proses *sintering*.
- m. Lakukan proses perhitungan untuk mencari persentase cacat *shrinkage* pada produk dengan menggunakan persamaan rumus :
$$S = \frac{V_1 - V_2}{V_1} \times 100 \%$$
- n. Analisa cacat *shrinkage* dengan metode *taguchi*
- o. Mendapatkan hasil kesimpulan dari data penelitian yang telah dilakukan.

3.5 Pelaksanaan Penelitian

Pelaksanaan Penelitian ini meliputi beberapa hal yang dilakukan yaitu Pembuatan *greenpart* hingga pengujian dan analisis data. Adapun tahap tahap pelaksanaan penelitian sebagai berikut :

3.5.1 Persiapan dan Pembuatan Greenpart

Material yang digunakan pada penelitian ini yaitu serbuk aluminium, timah (Sn) , dan *binder* (*polypropylene*, *stearic acid*, dan *paraffin wax*). Persiapan yang dilakukan yaitu dengan mencetak *greenpart* sesuai dengan spesimen uji yang telah ditentukan.



Gambar 3.1 Spesimen Uji

3.5.2 Proses *Mixing*

Proses *mixing* bertujuan untuk pencampuran serbuk logam dengan *binder* yang kemudian di *granulasi* menjadi *feedstock*.

- Menggunakan serbuk aluminium dan serbuk Timah (Sn)
- Menggunakan *binder* (*polypropylene*, *stearic acid*, dan *paraffin wax*)
- Mengatur *temperature* kompor listrik 60°C
- Memasukkan serbuk aluminium, Sn, dan *binder* selama 2 jam.

3.5.3 Proses *Injeksi Molding*

Setelah dilakukan proses *mixing* proses selanjutnya adalah proses injeksi yang bertujuan untuk mencetak *greenpart* dari *feedstock* dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- Menghidupkan mesin *injeksi molding*
- Mengatur *temperature* sebesar 160°C, *holding time* sebesar 6, dan tekanan sebesar 8 bar pada mesin *injeksi molding*.
- Menuangkan *feedstock* ke dalam *hopper* sampai meleleh
- Membersihkan *mold base* dari kotoran hasil pengerjaan sebelumnya.
- Melakukan penginjekan sebanyak 27 *greenpart*.

3.5.4 Proses *Debinding*

Hasil dari penginjekan dilakukan proses *debinding* untuk bertujuan memisahkan pengikat dari *feedstock* dari proses *injeksi molding*. Proses *debinding*

dilakukan dengan cara merendamkan *greenpart* kedalam larutan *heksana* dengan *temperature* kompor listrik sebesar 60°C dan dengan waktu selama 3 jam.

3.5.5 Proses *Sintering*

Setelah dilakukan proses *debinding* proses selanjutnya adalah proses *sintering* yang bertujuan untuk menyatunya antar partikel yang disebabkan oleh perlakuan *thermal*.

- a. Memasukkan *greenpart* kedalam *furnace* dengan variasi *temperature* 450°C , 550 °C, dan 650 °C.
- b. Dilakukan *holding time* dengan variasi 1 jam, 2 jam, dan 3 jam.

3.5.6 Pengukuran Cacat *Shrinkage*

Proses pengukuran nilai persentase cacat *shrinkage* dapat diketahui dengan persamaan rumus yang telah ditetapkan, Sehingga sebelum dan sesudah proses *sintering* dilakukan proses pemindaian pada spesimen uji tarik sebanyak 27 buah dan hasil dari pemindaian dapat dilihat nilai volume dengan menggunakan aplikasi *Software Autodesk Meshmixer*. Kemudian nilai volume pada spesimen uji sebelum dan sesudah proses *sintering* dilakukan proses perhitungan dengan menggunakan rumus yang telah ditetapkan untuk mengetahui nilai persentase cacat *shrinkage* pada spesimen uji tersebut.



Gambar 3.2 3D Scanner

3.6 Variabel Penelitian

Adapun beberapa variabel yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

3.6.1. Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang telah ditentukan oleh peneliti untuk menjadikan objek pengamatan penelitian. Variabel bebas pada penelitian ini menggunakan tiga variasi yang dijelaskan dalam Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Variabel Bebas dan 3 Variasi Penelitian Sintering MIM Al-PP

Faktor Kendali	Parameter	Level 1	Level 2	Level 3
A	Penambahan Sn	0 wt. %	1 wt. %	2 wt. %
B	<i>Temperature</i>	450°C	550 °C	650 °C
C	<i>Holding Time</i>	1 Jam	2 Jam	3 Jam

3.6.2. Variabel Respon

Variabel Respon adalah variabel yang tidak dapat ditentukan oleh peneliti, namun variabel respon dipengaruhi oleh variabel bebas. Variabel respon pada penelitian ini adalah cacat *shrinkage* pada proses sintering.

3.6.3. Variabel Konstan

Variabel konstan adalah variabel yang tidak tertera dalam variabel bebas pada penelitian ini. Nilai variabel ini tidak berubah-ubah atau konstan. Untuk variabel konstan pada penelitian ini adalah suhu ruangan (°C).

3.7 Pengambilan Data

Proses pengambilan data cacat *shrinkage* pada hasil greenpart proses *sintering metal injection molding* menggunakan *3d scanner* untuk pemindaian spesimen dapat dilihat nilai volume dengan menggunakan aplikasi *software Autodesk Meshmixer*. Hasil Uji cacat *shrinkage* dari penelitian disajikan seperti data Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Data Hasil Pengujian Cacat *Shrinkage* Proses *Sintering* MIM Al-PP

No	Faktor Kendali			Rep	Volume Produk		Nilai <i>Shrinkage</i> (%)	Rata- Rata
	A	B	C		V ₁ (mm ³)	V ₂ (mm ³)		
1	0 %	450 °C	1 Jam	I				
				II				
				III				
2	0 %	550 °C	2 Jam	I				
				II				
				III				
3	0 %	650 °C	3 Jam	I				
				II				
				III				
4	1 %	450 °C	2 Jam	I				
				II				
				III				
5	1 %	550 °C	3 Jam	I				
				II				
				III				
6	1 %	650 °C	1 Jam	I				
				II				
				III				
7	2 %	450 °C	3 Jam	I				
				II				
				III				
8	2 %	550 °C	1 Jam	I				
				II				
				III				
9	2 %	650 °C	2 Jam	I				
				II				
				III				

3.8 Metode Analisa

Metode analisa yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Analisis of varians* dengan tahapan pengambilan sebagai berikut:

a. Studi Literatur

Jurnal dan penelitian pada sebelumnya yang digunakan sebagai referensi pengaruh penambahan Sn, *temperature*, dan *holding time* terhadap cacat *shrinkage*.

b. Pengambilan Data

Nilai perubahan cacat *shrinkage* dapat diketahui dengan cara membandingkan *shrinkage* sebelum dan setelah proses *sintering*. Data diambil dari desain *orthogonal array* L9(3³) yang telah disajikan tabel 3.2.

c. Uji Asumsi Residual

- 1) Uji *Independen*
- 2) Uji *Homogenitas*
- 3) Uji *Normalitas*

d. Tahap Analisa

1) Rasio S/N

Rasio S/N bertujuan untuk mengetahui level factor yang berpengaruh pada hasil eksperimen.

2) Analisis Varian (ANOVA)

- 3) Anova bertujuan untuk mengetahui beberapa faktor yang berpengaruh secara signifikan terhadap kinerja produk. Perhitungan analisis varian yang digunakan pada penelitian ini menggunakan *software* minitab yang akan diperoleh data seperti yang ditunjukkan pada tabel 3.3.

Tabel 3.3 Hasil Analisis Varians Dan Kontribusi Parameter Berpengaruh

Sumber	Dk	SS	MS	F _{Hitung}	P
Penambahan Sn					
<i>Temperature</i>					
<i>Holding Time</i>					
<i>Residual Error</i>					
Total					

4) Uji F

Uji Hipotesa F dilakukan dengan cara membandingkan variasi yang disebabkan masing-masing faktor dan variasi eror. Hipotesa pengujian dalam suatu percobaan adalah sebagai berikut:

H_0 : Tidak ada pengaruh variasi perlakuan ($\mu_1 = \mu_2 = \mu_3$)

H_1 : Ada pengaruh variasi perlakuan ($\mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$)

Pada penelitian ini menggunakan nilai harga signifikan α sebesar 0,05 atau 5%. Apabila Nilai F hitung lebih kecil dari nilai F tabel ($F_{hitung} < F_{tabel}$), maka H_0 diterima. Namun jika nilai F hitung lebih besar dari nilai F tabel ($F_{hitung} > F_{tabel}$), maka H_1 ditolak.

5) Interpretasi Hasil Eksperimen

a) Interval Kepercayaan

b) Persen Kontribusi

Menghitung nilai persen kontribusi yang diberikan setiap variasi dan interaksi adalah:

Terlebih dahulu menghitung nilai SS' Faktor :

$$SS'_{Faktor} = SS_{Faktor} - vA (Ve)$$

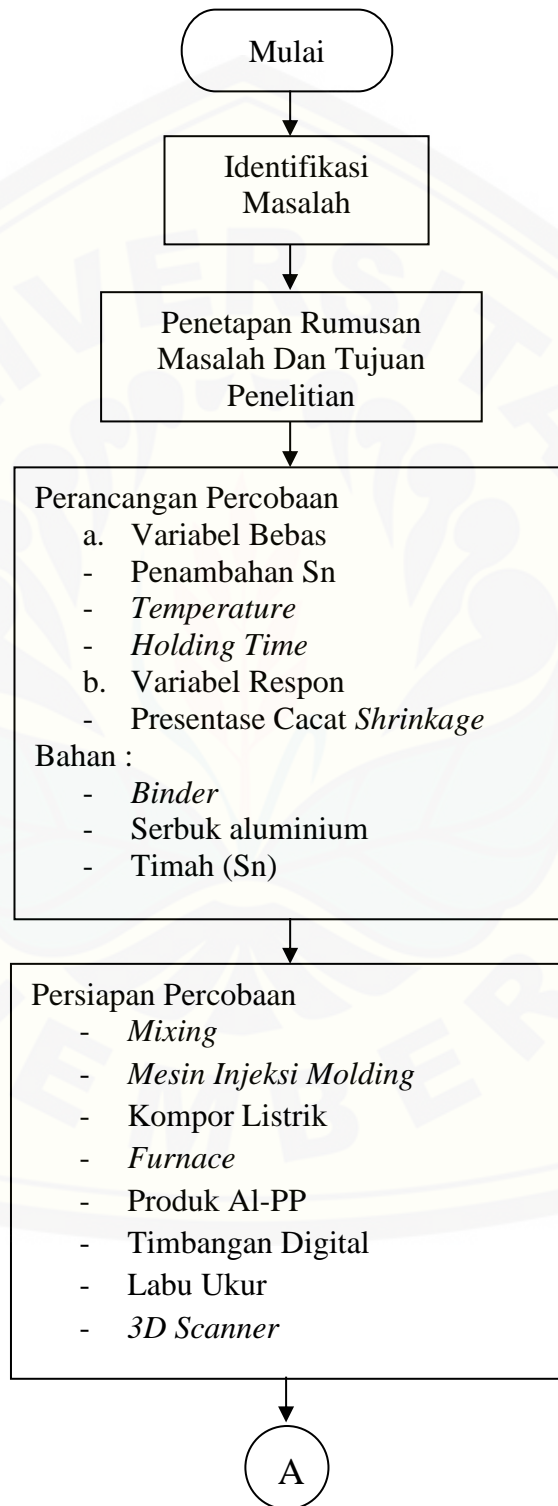
Maka nilai persen kontribusi dapat dihitung :

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

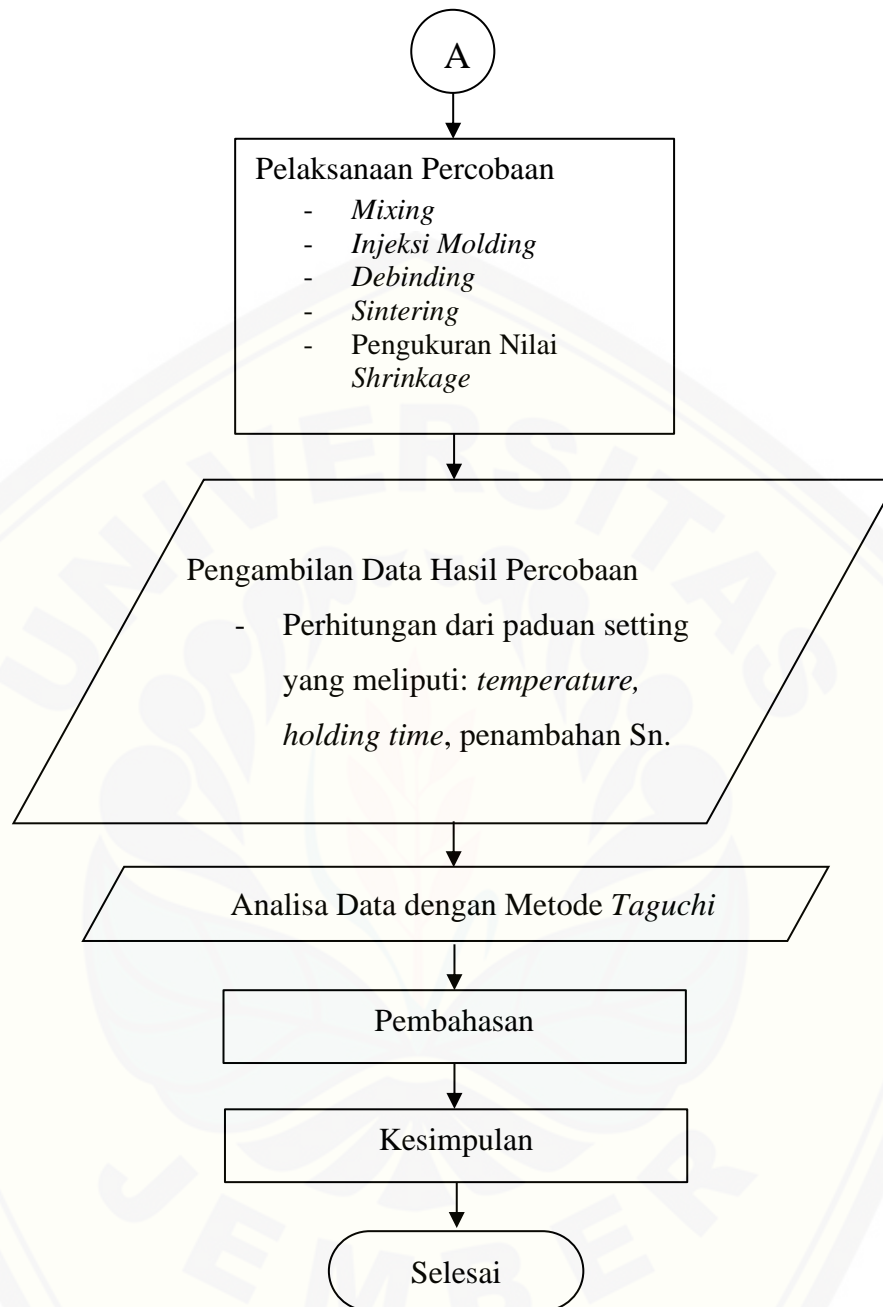
Apabila nilai persen kontribusi $\leq 15\%$ maka tidak ada faktor yang berpengaruh. Namun jika nilai persen kontribusi $\geq 15\%$ maka ada faktor yang berpengaruh.

3.9 Diagram Alir Penelitian

Adapun Diagram alir penelitian ini adalah sebagai berikut::



Gambar 3.3 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.3 Diagram Alir Penelitian

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Hasil eksperimen dan analisa pada penelitian ini menggunakan metode taguchi mengenai pengaruh parameter penambahan Sn, *temperature*, dan *holding time* terhadap cacat *shrinkage* pada proses *sintering metal injection molding* sebagai berikut:

- a. Berdasarkan hasil perhitungan distribusi F, didapatkan parameter penambahan Sn tidak berpengaruh secara signifikan terhadap persentase cacat *shrinkage* dengan persentasi kontribusi sebesar 14,48%, parameter *temperature* memiliki pengaruh secara signifikan terhadap persentase cacat *shrinkage* dengan persentasi kontribusi sebesar 68,92%, dan parameter *holding time* tidak berpengaruh secara signifikan terhadap persentase cacat *shrinkage* dengan persentasi kontribusi sebesar 6,27%.
- b. Penentuan parameter optimal pada penelitian ini menggunakan metode *taguchi* dengan bantuan *software* minitab mendapatkan hasil yaitu pada parameter Penambahan Sn 2%, *temperature* 450°C, dan *holding time* selama 1 jam.

5.2 Saran

Setelah melakukan penelitian ini, saran yang dapat penulis berikan yaitu sebagai berikut:

- a. Pada penelitian *sintering metal injection molding* masih dapat dilanjutkan dengan menggunakan parameter-parameter yang lain seperti *cooling time* agar mendapatkan produk yang lebih optimal sehingga cacat *shrinkage* dapat dikurangi seminimal mungkin.
- b. Penelitian selanjutnya dapat diharapkan menggunakan metode lain, seperti *respon surface* atau desain *factorial* sehingga dapat dibandingkan hasil persentasenya

- c. Dalam melakukan pengambilan data penelitian diharapkan melakukan pengulangan percobaan dan lebih teliti agar mendapatkan hasil yang lebih maksimal.



DAFTAR PUSTAKA

- Abdurokhman, M. 2012. Effects Of Sintering Temperature And Holding Time On Porosity And Shrinkage Of Glass Tubes. *Skripsi*. Depok: Universitas Indonesia.
- Afrilinda, E., S. Virdhian, M. Doloksaribu. 2017. Studi Awal Pembuatan Feedstock Metal Injection Moulding Menggunakan Torque Rheometer. *Metal Indonesia*. 39(1): 33-44.
- Anggara, R.B. 2019. Pengaruh Variasi Temperature dan Holding Time Pada Proses Metal Injection Molding Al/PP Terhadap Cacat Shrinkage. *Skripsi*. Jember: Universitas Jember.
- Engstrom, B. 2017. Metal Injection Molding: A review of the MIM process and its optimization. *Erland Nyroth (Arcada)* : 67.
- Febriyanto, H. 2013. Pengaruh Variasi Temperatur dan Paduan Polypropylene Dengan Serbuk Arang Kayu Terhadap Kekuatan Impact Pada Proses Injection Moulding. *Skripsi*. Jember: Universitas Jember
- Gelin, J.C., Th. Barriere, dan J. Song. 2010. Processing Defects and Resulting Mechanical Properties After Metal Injection Molding. *Engineering Materials and Technology*. 132: 1-9.
- Heaney, D.F., dan R. Spina. 2007. Numerical Analysis of Debinding and Sintering of MIM Parts. *Materials Processing Technology*. 191:385-389.
- Hwang, K.S., 2012. Common Defects in Metal Injection Molding (MIM). Taiwan: National Taiwan University.
- Jaman, W.S., S. Virdhian, E. Afrilinda. 2018. Studi Awal Solvent Debinding Feedstock Metal Injection Molding Fe2%Ni. *Metal Indonesia*. 40(1): 10-16
- Jusuf, O.. 2010. *Membuat Patung Gips dan Lilin*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Krisnawan, I.H., B. Kusharjanta, dan W.P. Raharjo. 2012. Pengaruh Ukuran Riser Terhadap Cacat Penyusutan Dan Cacat Porositas Produk Cor Aluminium Cetakan Pasir. *Mekanika*. 10(2): 125-130.
- Liu, Z.Y., T.B, Sercombe, dan G.B. Schaffer. 2008. Metal Injection Moulding of Aluminium Alloy 6061 with Tin. *Powder Metallurgy*. 51:1

- Loh, N.H., dan R.M. German. 1996. Statistical Analysis of Shrinkage Variation For Powder Injection Molding. *Journal of Materials Technology*. 59: 278-284
- Ni, J., M. Yu, K. Han. 2018. Debinding and Sintering of an Injection-Moulded Hypereutectic Al-Si Alloy. *Materials*. 11(807): 1-10.
- Nor, N.H.M., N. Muhammad, A.K.A. Ihsan, dan K.R. Jamaluddin. 2013. Sintering Parameter Optimization of Ti-6Al-4V Metal Injection Molding for Highest Strength Using Palm Stearin Binder. *Procedia Engineering*. 68: 359-364.
- Oktavano, I.R. 2019. Analisis Pengaruh Aging 8 Jam dengan Variasi Suhu Terhadap Kekuatan Tarik dan Kekerasan Al-Si. *Skripsi*. Yogyakarta: Program Studi Universitas Sanata Dharma.
- Pachauri, P. dan M. Hamiuddin. 2016. Effect of Sintering Process Parameters in Metal Injection Molding (MIM) Process on Impact Toughness of Sintered Parts. *International Journal of Advanced Materials and Metallurgical Engineering*. 2(1): 23-33.
- Soejanto, I. 2009. Desain Eksperimental Dengan Metode Taguchi. Yogyakarta: Ilmu Graha.
- Straumal, B.B., dan M. Friesel. 2000. Grain Boundary Phase Transitions And Their Influence On Properties Of Polycrystals. *Mater Phys Mech*. 2: 37-41
- Sukandarrumidi. 2018. *Geologi Mineral Logam*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Syaifuddin, M. 2017. Rancang Bangun Plastic Injection Moulding Pada Pemanfaatan Limbah Plastik Untuk Gagang Pisau. *Skripsi*. Kudus: Universitas Muria Kudus.
- Virdhian, S. dan Pujiyanto. 2014. Pengembangan Komponen Near Net Shape Berbiaya Rendah Dengan proses Metal Injection Molding. *Jurnal Riset Industri*. 8(1): 11-21
- Yang, D., Y. Zhang, X. song, Y. Chen, Z. Shen, dan C. Yang. 2016. Effects Of Sintering Temperature And Holding Time On Porosity And Shrinkage Of Glass Tubes. *Ceramics International*. 42: 5906-5910.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Tabel Minitab

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18
	Penambahan Sn	Temperature	Holding Time	Nilai Shrinkage	SNR(A1)	MEAN1	FITS1	RES1	ACF1									
1	0	450	1	0.1678	13.5042	0.1678	15.8039	-0.304743	0.307906									
2	0	550	2	0.2052	12.7565	0.2052	13.7521	0.178231	-0.303466									
3	0	650	3	0.2403	12.3849	0.2403	12.2584	0.126512	0.424208									
4	1	450	2	0.1423	16.9359	0.1423	16.8004	0.126512	-0.179618									
5	1	550	3	0.2103	13.5432	0.2103	13.8480	-0.304743	-0.245124									
6	1	650	1	0.1862	14.6158	0.1862	14.2776	0.178231	0.149141									
7	2	450	3	0.1519	16.3688	0.1519	16.1906	0.178231	0.054065									
8	2	550	1	0.1765	13.0851	0.1765	14.9386	0.126512	-0.031301									
9	2	650	2	0.1985	14.0448	0.1985	14.3495	-0.304743										

Gambar 1. Tabel Minitab

Lampiran 2. Analisis Metode Taguchi Menggunakan Minitab

```

Welcome to Minitab, press F1 for help.
Executing from file: C:\Program Files (x86)\Minitab\Minitab 17\English\Macros\Startup.mao

This Software was purchased for academic use only.
Commercial use of the Software is prohibited.

Taguchi Design
Taguchi Orthogonal Array Design
L9(3^3)
Factors: 3
Runs: 9

Columns of L9(3^4) Array
1 2 3
    
```

Gambar 2. Informasi Desain Taguchi

```

Taguchi Analysis: Nilai Shrinkage versus Penambahan Sn, Temperature, Holding Time
Response Table for Signal to Noise Ratios
Smaller is better

Penambahan Sn Temperature Holding Time
Level 1 13.88 16.27 15.00
2 14.96 14.12 14.91
3 15.16 13.62 14.10
Delta 1.28 2.65 0.90
Rank 2 1 3

Response Table for Means
Penambahan Sn Temperature Holding Time
Level 1 0.2044 0.1540 0.1752
2 0.1509 0.1973 0.1820
3 0.1756 0.2097 0.2008
Delta 0.0288 0.0557 0.0227
Rank 2 1 3
    
```

Gambar 3. Analisis Rata-rata Data Tabel Pada Tabel Setiap Parameter

Lampiran 3. Analisis ANOVA Menggunakan Minitab

```

Method

Factor coding (1, 0)

Factor Information

Factor      Type  Levels  Values
Penambahan Sn  Fixed    3  0, 1, 2
Temperature    Fixed    3  450, 550, 650
Holding Time   Fixed    3  1, 2, 3
    
```

Gambar 4. Informasi Tiap Faktor

```

Analysis of Variance

Source      DF  Seq SS  Contribution  Adj SS  Adj MS  F-Value  P-Value
Penambahan Sn  2  2.8436  17.08%  2.8436  1.4218  6.74  0.129
Temperature    2  11.9168  71.56%  11.9168  5.9584  28.24  0.034
Holding Time    2  1.4713  8.83%  1.4713  0.7356  3.49  0.223
Error          2  0.4219  2.53%  0.4219  0.2110
Total          8  16.6536  100.00%

Model Summary

S      R-sq  R-sq(adj)  PRESS  R-sq(pred)
0.459304  97.47%  89.87%  8.54388  48.70%
    
```

Gambar 5. Analisi Varian dari S/N

```

Coefficients

Term          Coef  SE Coef  95% CI  T-Value  P-Value  VIF
Constant    15.809  0.405  (14.066, 17.552)  39.03  0.001
Penambahan Sn
  1          1.083  0.375  (-0.530, 2.697)  2.89  0.102  1.33
  2          1.278  0.375  (-0.336, 2.891)  3.41  0.076  1.33
Temperature
  550        -2.148  0.375  (-3.762, -0.534) -5.73  0.029  1.33
  650        -2.654  0.375  (-4.268, -1.041) -7.08  0.019  1.33
Holding Time
  2          -0.083  0.375  (-1.696, 1.531) -0.22  0.846  1.33
  3          -0.896  0.375  (-2.510, 0.718) -2.39  0.139  1.33

Regression Equation

SNRA1 = 15.809 + 0.0 Penambahan Sn_0 + 1.083 Penambahan Sn_1 + 1.278 Penambahan Sn_2
+ 0.0 Temperature_450 - 2.148 Temperature_550 - 2.654 Temperature_650
+ 0.0 Holding Time_1 - 0.083 Holding Time_2 - 0.896 Holding Time_3
    
```

Gambar 6. Koefisiensi Tiap Parameter

Autocorrelation Function: SNRA1			
Lag	ACF	T	LBQ
1	-0.367906	-1.10	1.68
2	-0.303466	-0.81	2.98
3	0.424208	1.06	5.95
4	-0.179618	-0.40	6.59
5	-0.245124	-0.54	8.07
6	0.149141	0.32	8.81
7	0.054065	0.11	8.95
8	-0.031301	-0.07	9.05

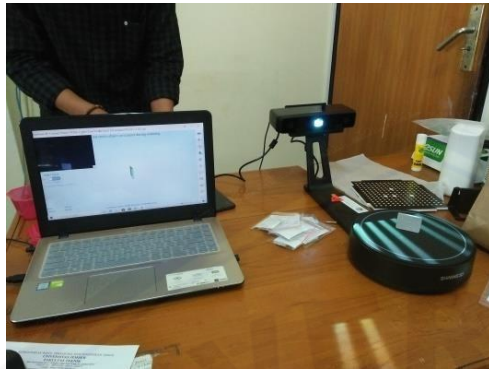
Gambar 7. Nilai ACF

Lampiran 4 Alat dan Bahan Penelitian



Gambar 8. Timbangan Digital

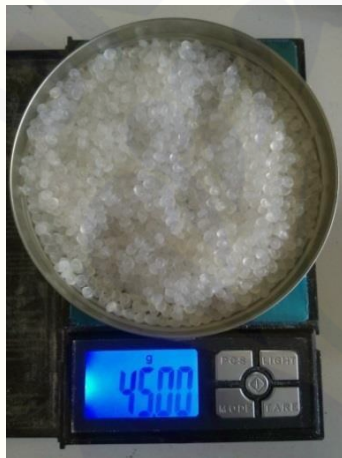
Gambar 9. *Mold*Gambar 10. Mesin *Injection Molding*Gambar 11. *Furnace*



Gambar 12. Mesin 3D Scanner



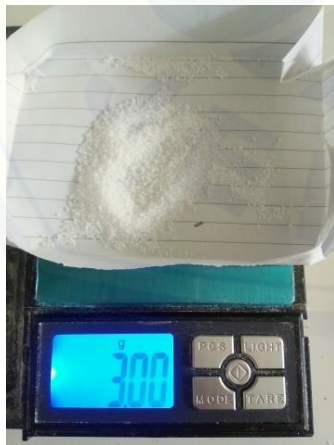
Gambar 13. Kompor Listrik



Gambar 14. Polypropylene



Gambar 15. Paraffin Wax



Gambar 16. Stearic Acid



Gambar 17. Timah (Sn)



Gambar 18. Serbuk Aluminium (Al)



Gambar 19. Heksana

Lampiran 5. Foto Pengambilan Data



Gambar 20. Feedstock



Gambar 21. Proses Injeksi



Gambar 22. *Proses Debinding*



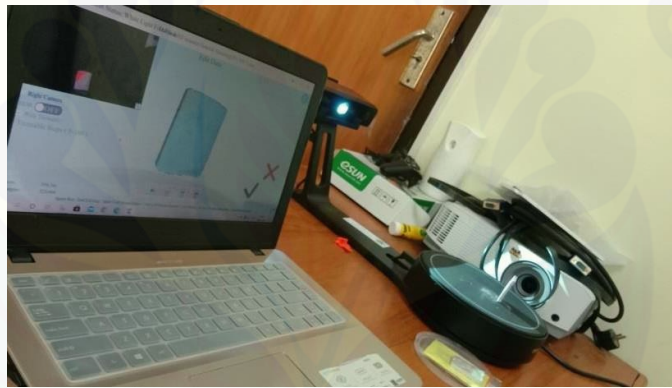
Gambar 23. *Proses Sintering*



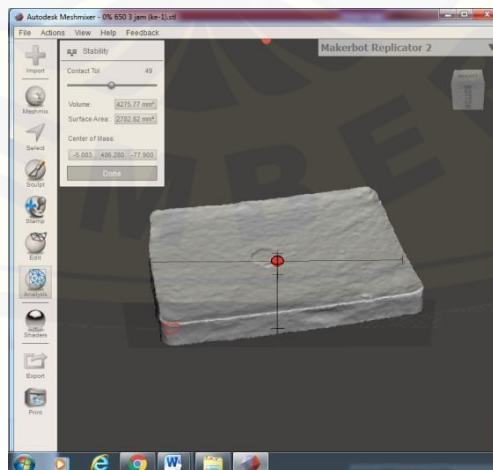
Gambar 24. Hasil Setelah Proses *Sintering*



Gambar 25. Proses Pengambilan Data Volume



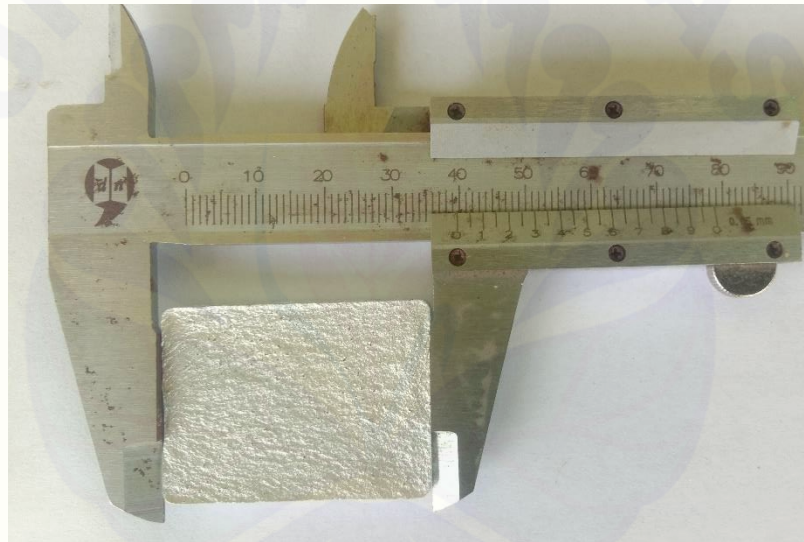
Gambar 26. Proses 3D Scanner



Gambar 27. Hasil Volume 3D Scanner

Lampiran 6. Validasi Software Autodesk Meshmixer

Ukuran	Dimensi Asli (mm)	Dimensi Meshmixer (mm)	Selisih (mm)
Panjang	39,60	38,68	0,92
Lebar	29,50	28,51	0,99
Tinggi	4,25	3,82	0,43



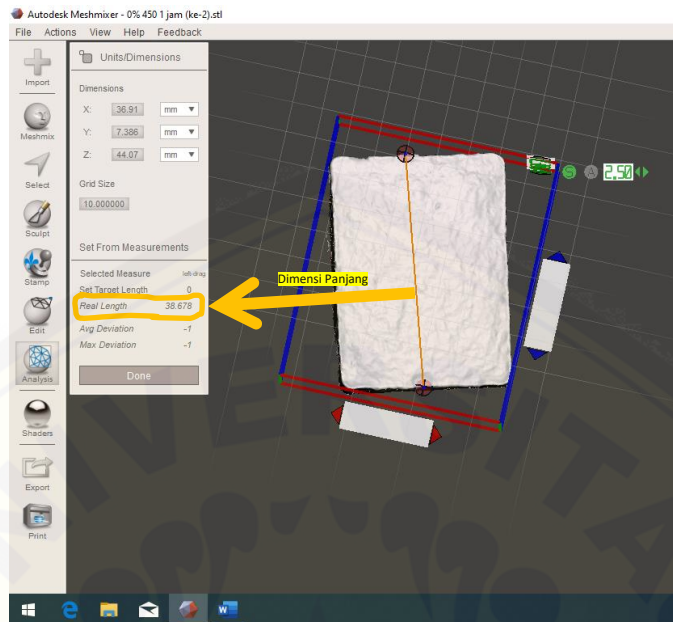
Gambar 28. Hasil Pengukuran Dimensi Panjang Asli Menggunakan Jangka Sorong



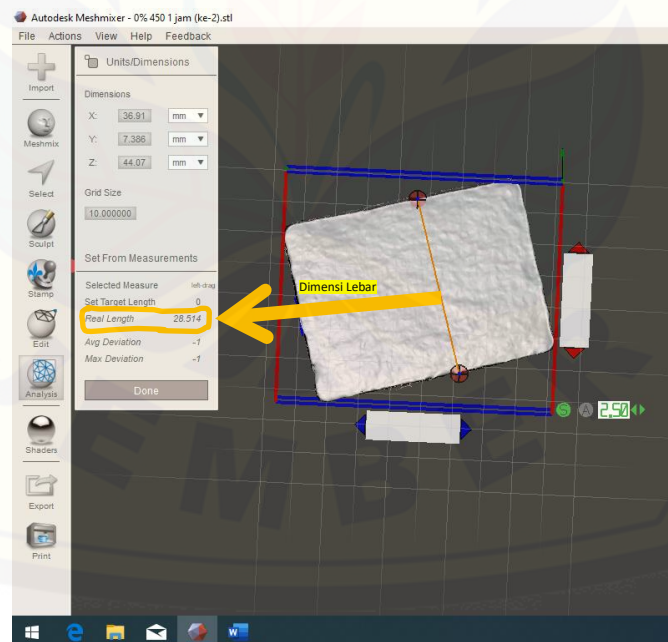
Gambar 29. Hasil Pengukuran Dimensi Lebar Asli Menggunakan Jangka Sorong



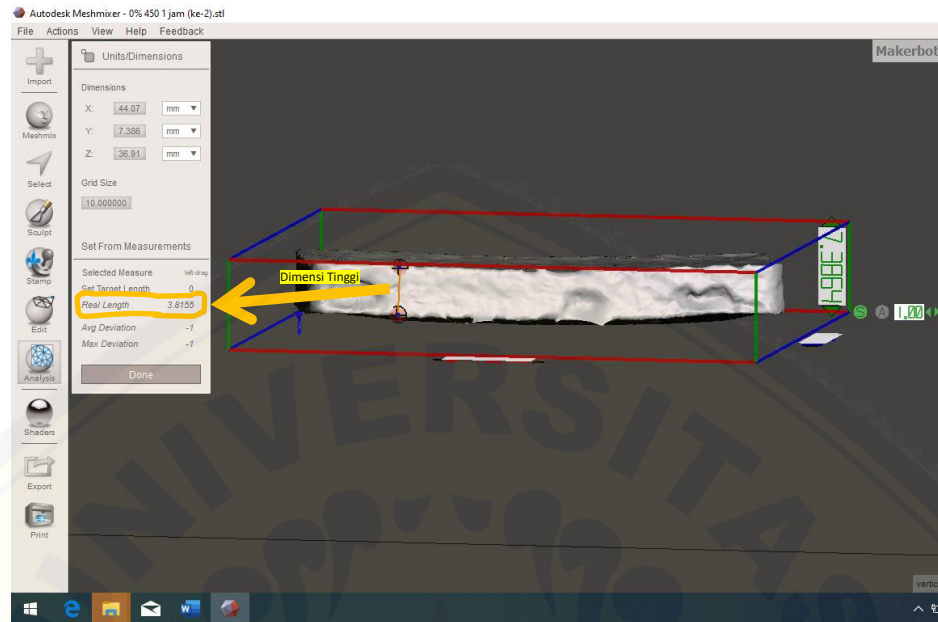
Gambar 30. Hasil Pengukuran Dimensi Tinggi Asli Menggunakan Jangka Sorong



Gambar 31. Hasil Pengukuran Dimensi Panjang Menggunakan *Meshmixer*



Gambar 32. Hasil Pengukuran Dimensi Lebar Menggunakan *Meshmixer*

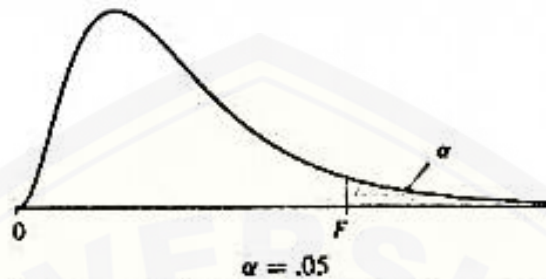


Gambar 33. Hasil Pengukuran Dimensi Tinggi Menggunakan *Meshmixer*

Lampiran 7. Tabel Persentase Berat Sebelum dan Sesudah Sintering

No	Faktor Kendali			Rep.	Berat Sintering		Persentase (%)	Rata-Rata (%)
	Sn (%)	Temperatur (°C)	Holding Time (Jam)		Sebelum (g)	Sesudah (g)		
1	0	450	1	I	4,35	2,29	47,36	47,97
				II	4,29	2,2	48,72	
				III	4,18	2,18	47,85	
2	0	550	2	I	4,34	2,28	47,47	38,36
				II	3,94	2,63	33,25	
				III	3,84	2,52	34,38	
3	0	650	3	I	4,13	2,71	34,38	37,60
				II	4,07	2,68	34,15	
				III	4,02	2,24	44,28	
4	1	450	2	I	3,6	2,17	39,72	41,26
				II	4,06	2,36	41,87	
				III	4,48	2,59	42,19	
5	1	550	3	I	3,76	2,42	35,64	37,21
				II	4,23	2,63	37,83	
				III	4,35	2,69	38,16	
6	1	650	1	I	4,75	2,76	41,89	37,27
				II	4,57	2,87	37,20	
				III	4,37	2,94	32,72	
7	2	450	3	I	4,94	2,64	46,56	44,98
				II	4,98	2,6	47,79	
				III	4,83	2,87	40,58	
8	2	550	1	I	4,28	2,86	33,18	37,15
				II	4,18	2,76	33,97	
				III	5,35	2,98	44,30	
9	2	650	2	I	4,59	2,97	35,29	36,77
				II	4,76	2,97	37,61	
				III	4,73	2,96	37,42	

Lampiran 8. Tabel Distribusi F ($\alpha = 0,05$)



df_2	df_1									
	1	2	3	4	5	6	8	12	24	∞
1	161.4	199.5	215.7	224.6	230.2	234.0	238.9	243.9	249.0	254.3
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.37	19.41	19.45	19.50
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.84	8.74	8.64	8.53
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.04	5.91	5.77	5.63
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.82	4.68	4.53	4.36
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.15	4.00	3.84	3.67
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.73	3.57	3.41	3.23
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.44	3.28	3.12	2.93
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.23	3.07	2.90	2.71
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.07	2.91	2.74	2.54
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	2.95	2.79	2.61	2.40
12	4.75	3.88	3.49	3.26	3.11	3.00	2.85	2.69	2.50	2.30
13	4.67	3.80	3.41	3.18	3.02	2.92	2.77	2.60	2.42	2.21
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.70	2.53	2.35	2.13
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.64	2.48	2.29	2.07
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.59	2.42	2.24	2.01
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.55	2.38	2.19	1.96
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.51	2.34	2.15	1.92
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.48	2.31	2.11	1.88
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.45	2.28	2.08	1.84
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.42	2.25	2.05	1.81
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.40	2.23	2.03	1.78
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.38	2.20	2.00	1.76
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.36	2.18	1.98	1.73
25	4.24	3.38	2.99	2.76	2.60	2.49	2.34	2.16	1.96	1.71
26	4.22	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.32	2.15	1.95	1.69
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.30	2.13	1.93	1.67
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.44	2.29	2.12	1.91	1.65
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.54	2.43	2.28	2.10	1.90	1.64
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.27	2.09	1.89	1.62
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.18	2.00	1.79	1.51
60	4.00	3.15	2.76	2.52	2.37	2.25	2.10	1.92	1.70	1.39
120	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.17	2.02	1.83	1.61	1.25
∞	3.84	2.99	2.60	2.37	2.21	2.09	1.94	1.75	1.52	1.09

