



**PENGARUH SUHU DAN WAKTU PROSES *SOLVENT*
DEBINDING TERHADAP BERAT *GREENPART* PADA *METAL*
INJECTION MOLDING SERBUK ALUMINIUM**

SKRIPSI

Oleh

Mochamad Ryan Rizky Permana

NIM 141910101054

PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2019



**PENGARUH SUHU DAN WAKTU PROSES SOLVENT
DEBINDING TERHADAP BERAT GREENPART PADA METAL
INJECTION MOLDING SERBUK ALUMINIUM**

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

Mochamad Ryan Rizky Permana

NIM 141910101054

PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2019

PERSEMBAHAN

Yang utama dari segalanya, sembah sujud serta syukur kepada Allah SWT atas limpahan kasih dan karunia-Mu telah memberikan kekuatan serta kemudahan sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik. Sholawat serta salam selalu terlimpahkan keharibaan Rasulullah Muhammad SAW.

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

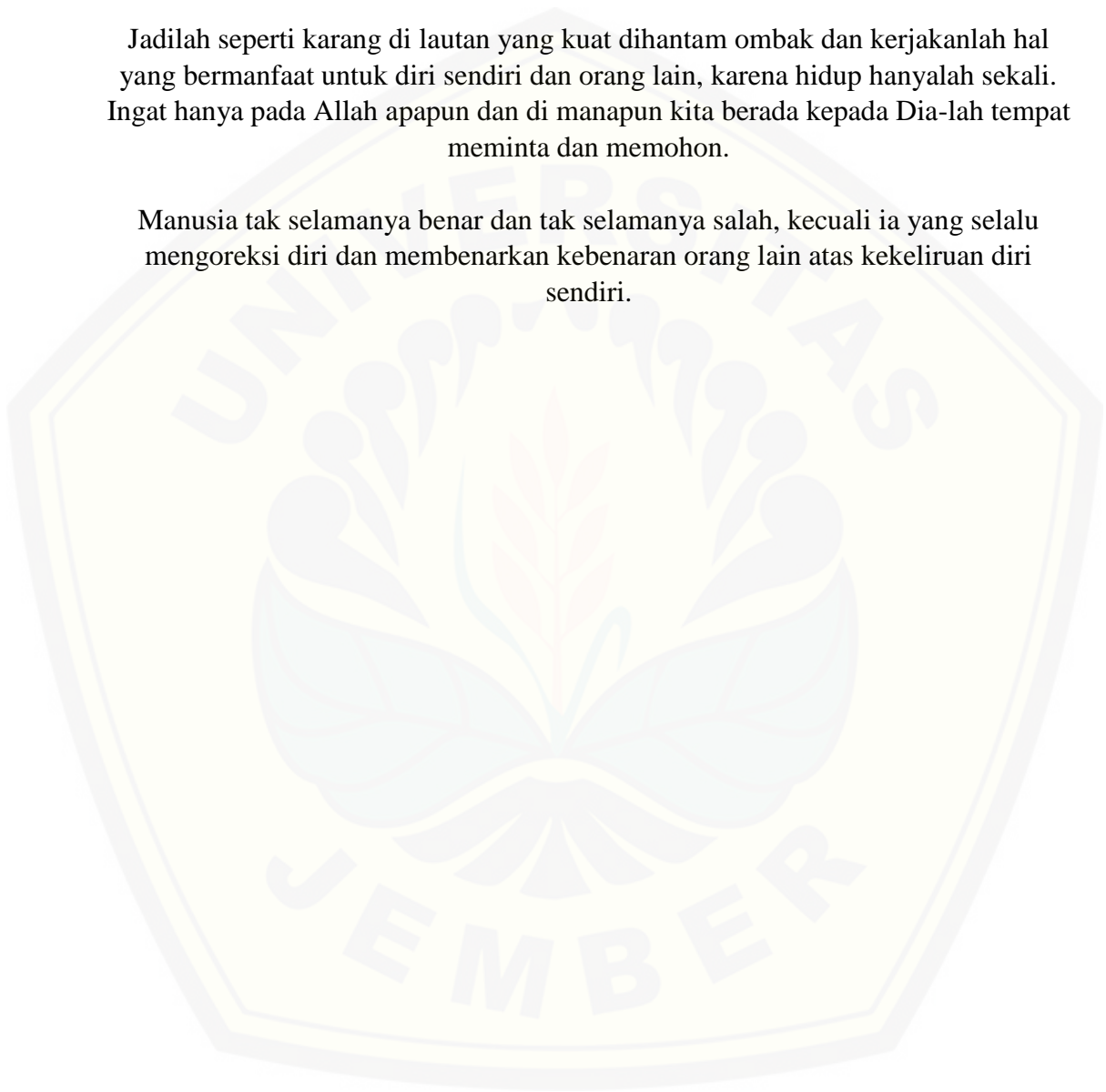
1. Ayahanda dan ibunda yang senantiasa memberikan semangat, dorongan, kasih sayang dan pengorbanan yang tidak kenal lelah, dan doa yang tiada hentinya tucurahkan dengan sepenuh hati;
2. Semua dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang senantiasa menularkan ilmunya, semoga ilmu yang bermanfaat dan barokah dikemudian hari. Aris Zainul Muttaqin, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama, Danang Yudistiro, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang selalu memberikan saran dan arahan yang sangat membantu dalam menyelesaikan skripsi ini. Mahros Darsin, S.T., M.Sc., Ph.D. selaku Dosen Penguji Utama dan Santoso Mulyadi, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji Anggota yang telah memberikan saran dan arahan menuju ke arah yang benar dalam menyelesaikan skripsi ini;
3. Guru-guruku sejak Taman Kanak-kanak sampai SMA yang tidak kenal lelah memberikan ilmunya, membimbing dan mendidik menuju arah yang lebih baik sehingga sampai ke jenjang perguruan tinggi;
4. Kelompok penelitian yaitu Rizky Bagus Anggara, M Bagus Amirullah, Khoirul Fahmi Aziz, Dheo Ardi Nugraha, Risnanda Ari Jupiter dan Afria Sando Wahyu A. yang telah membantu dalam menyelesaikan penelitian ini, serta teman-temanku Teknik Mesin angkatan 2014 yang tidak kenal Lelah memberikan dukungan dan doa serta kasih sayang;
5. Almamater Fakultas Teknik Universitas Jember.

MOTO

"Kemenangan yang seindah-indahnya dan sesukar-sukarnya yang boleh direbut oleh manusia ialah menundukan diri sendiri." (Ibu Kartini)

Jadilah seperti karang di lautan yang kuat dihantam ombak dan kerjakanlah hal yang bermanfaat untuk diri sendiri dan orang lain, karena hidup hanyalah sekali. Ingat hanya pada Allah apapun dan di manapun kita berada kepada Dia-lah tempat meminta dan memohon.

Manusia tak selamanya benar dan tak selamanya salah, kecuali ia yang selalu mengoreksi diri dan membenarkan kebenaran orang lain atas kekeliruan diri sendiri.



PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Mochamad Ryan Rizky Permana

NIM : 141910101054

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “PENGARUH SUHU DAN WAKTU PROSES *SOLVENT DEBINDING* TERHADAP BERAT *GREENPART* PADA *METAL INJECTION MOLDING* SERBUK ALUMINIUM” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, 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 mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 10 Juli 2019
Yang Menyatakan,

Mochamad Ryan Rizky
Permana.
NIM 141910101054

SKRIPSI

**PENGARUH SUHU DAN WAKTU PROSES *SOLVENT DEBINDING*
TERHADAP BERAT *GREENPART* PADA *METAL INJECTION MOLDING*
SERBUK ALUMINIUM**

Oleh

Mochamad Ryan Rizky Permana

NIM 141910101054

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Aris Zainul Muttaqin, S.T., M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Danang Yudistiro, S.T., M.T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul "Pengaruh Suhu dan Waktu Proses *Solvent Debinding* terhadap Berat *Greenpart* pada *Metal Injection Molding* Serbuk Aluminium" karya Mochamad Ryan Rizky Permana telah diuji dan disahkan pada:

Hari, tanggal : Selasa, 16 Juli 2019

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji

Dosen Pembimbing Utama,

Dosen Pembimbing Anggota,

Aris Zainul Muttaqin, S.T., M.T.
NIP 19681207 199512 1 002

Danang Yudistiro, S.T., M.T.
NIP 19790207 201504 1 001

Penguji I,

Penguji II,

Mahros Darsin, S.T., M.Sc., Ph.D.
NIP 19700322 199501 1 001

Santoso Mulyadi, S.T., M.T.
NIP 19700228 199702 1 001

Mengesahkan
Dekan,

Dr. Ir. Entin Hidayah, M.U.M
NIP 19661215 199503 2 001

RINGKASAN

PENGARUH SUHU DAN WAKTU PROSES *SOLVENT DEBINDING* TERHADAP BERAT *GREENPART* PADA *METAL INJECTION MOLDING* SERBUK ALUMINIUM

Mochamad Ryan Rizky P, 141910101054; 2019; 57 halaman; Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember.

Metal Injection Molding (MIM) adalah teknologi pembentukan logam yang menggabungkan proses injeksi dengan proses metalurgi serbuk. MIM merupakan proses pembentukan yang berfokus pada forming dan sintering serbuk logam. MIM dapat menghemat biaya dalam memproduksi komponen yang kecil, rumit dan presisi dalam jumlah yang banyak. Proses MIM terdiri dari 4 tahapan proses yang utama yaitu: *mixing*, *molding*, *debinding* dan *sintering*.

Dalam proses MIM, *debinding* dibagi menjadi tiga yaitu *thermal debinding*, *solvent debinding* dan *katalitik debinding*. Proses *thermal debinding* umumnya dianggap memakan waktu, di mana laju *debinding* sering sangat lambat dan durasi *debinding* biasanya memakan waktu beberapa jam. Teknik ini kemudian dikombinasikan dengan teknik pelarut (*solvent*) untuk mempercepat kecepatan laju *debinding*. Selama proses *solvent debinding*, komponen *greenpart* dilarutkan dengan direndam ke dalam larutan, misalnya: air, heksana dan heptana, sehingga berat *greenpart* akan mengalami penurunan dikarenakan pengikatnya sudah terlarut.

Penelitian bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi parameter proses, yaitu suhu dan waktu terhadap berat pada *greenpart* dan mengetahui variasi parameter optimum pada proses *solvent debinding*. dengan menggunakan cairan pelarut berjenis n-hexane agar didapatkan presentasi penurunan berat yang maksimal. Bahan baku *greenpart* yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari 17% *polypropilene*, 21.1% *paraffin wax*, 1.9% *stearic acid* dan serbuk aluminium 60%.

Hasil penelitian diperoleh bahwa suhu memberikan pengaruh paling besar terhadap nilai respon presentasi penurunan berat, kondisi ini dapat diamati seiring kenaikan level suhu maka nilai presentasi penurunan berat semakin naik. Hal tersebut juga dibuktikan oleh perhitungan persen kontribusi suhu yang menunjukkan nilai 95,25%.

Perhitungan persen kontribusi dari parameter waktu didapatkan nilai sebesar 2,84% hal tersebut menunjukkan bahwa parameter waktu berpengaruh terhadap nilai dari presentasi penurunan berat karena peningkatan setiap level parameter waktu akan meningkatkan nilai presentasi penurunan berat pada *greenpart*

Variasi optimum proses *solvent* debinding terhadap presentasi penurunan berat berada pada level 3 dengan suhu 60°C, dan waktu pada level 3 yaitu 3 jam.

SUMMARY

EFFECT OF TEMPERATURE AND TIME SOLVENT DEBINDING PROCESS ON GREENPART WEIGHT METAL INJECTION MOLDING ALUMINUM POWDER

Mochamad Ryan Rizky P, 141910101054; 2019; 57 pages; Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Jember University.

Metal Injection Molding (MIM) is a metal forming technology that combines the injection process with powder metallurgy. MIM is a formation process that focuses on forming and sintering metal powders. MIM can save costs in producing small, complicated and precision components in large quantities. The MIM process consists of four main process stages, namely: mixing, molding, debinding and sintering.

In the MIM process, debinding is divided into three, namely thermal debinding, solvent debinding and catalytic debinding. The process of thermal debinding is generally considered time consuming, where the rate of debinding is often very slow and the duration of debinding usually takes several hours. This technique is then combined with a solvent (solvent) technique to accelerate the rate of debinding speed. During the solvent debinding process, the greenpart component is dissolved by immersion into the solution, for example: water, hexane and heptane, so that the weight of the greenpart will decrease because the binder has dissolved.

The study aims to determine the effect of variations in process parameters, namely temperature and time to weight on greenpart and find out the optimum variation of parameters in the solvent debinding process. by using an n-hexane solvent to get the maximum weight loss presentation. The greenpart raw material used in this study consisted of 17% polypropilrene, 21.1% paraffin wax, 1.9% stearic acid and aluminum powder 60%.

The results showed that the temperature has the greatest influence on the response value of the presentation of the weight loss, this condition can be observed as the temperature level increases, the value of the presentation of the weight loss increases. This is also evidenced by the calculation of the percent contribution of temperature which shows a value of 95.25%.

The percent contribution calculation from the time parameter is 2.84%, it shows that the time parameter influences the value of the presentation of the heavy decrease because the increase in each level of the time parameter will increase the value of the presentation of the heavy decrease in the greenpart.

The optimum variation in the solvent debinding process for weight reduction presentations is at level 3 with a temperature of 60°C, and time at level 3 which is 3 hours.

PRAKATA

Alhamdulillah, puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala limpahan rahmat, taufik, serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian sekaligus penyusunan skripsi yang berjudul "Pengaruh Suhu dan Waktu Proses *Solvent Debinding* terhadap Berat *Greenpart* pada *Metal Injection Molding* Serbuk Aluminium". Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam penyelesaian pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Dalam penulisan skripsi ini tentunya banyak pihak yang telah memberikan bantuan baik moril maupun materil. Oleh karena itu penulis menyampaikan terima kasih kepada:

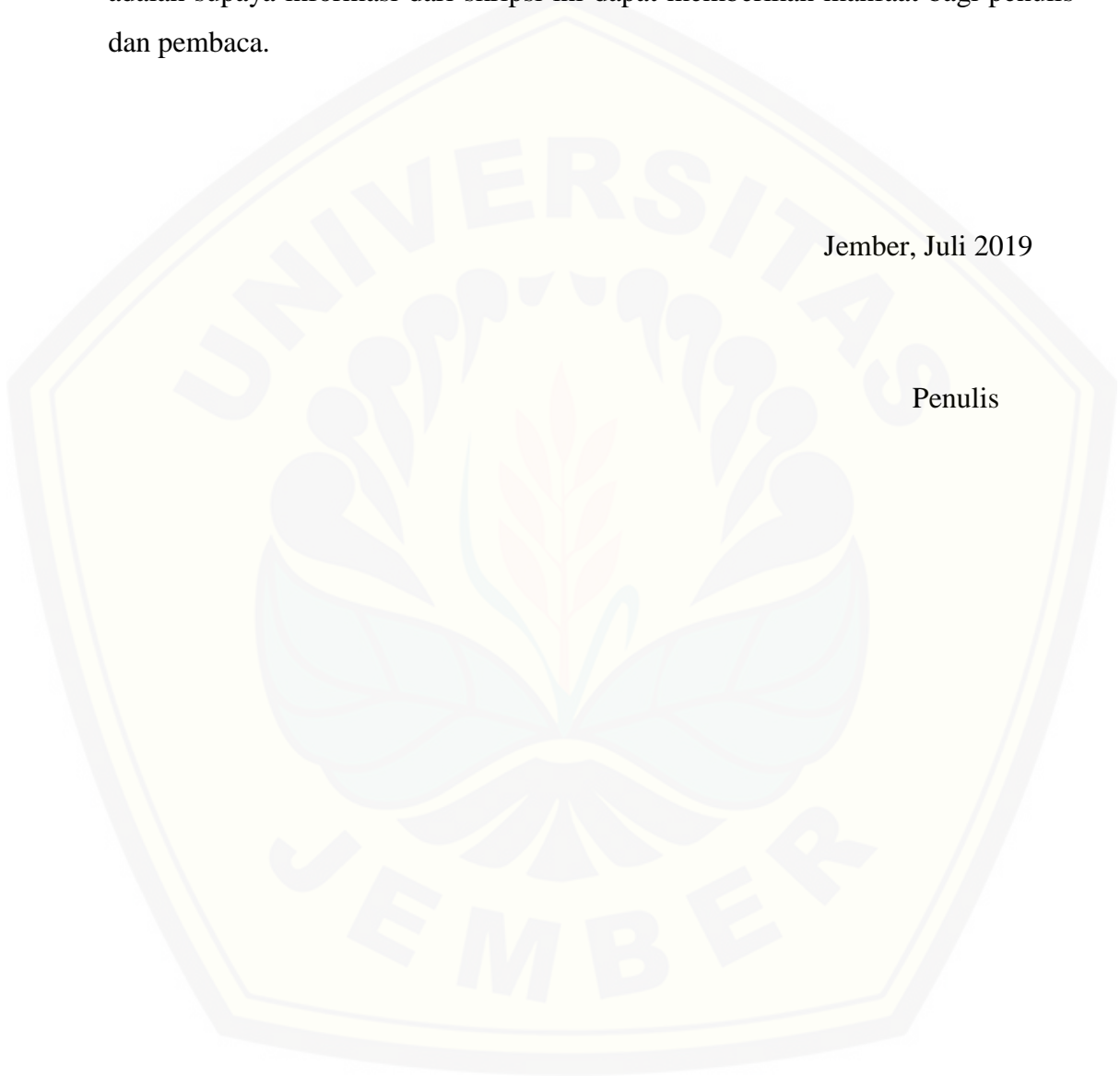
1. Kedua orang tua saya, ayahanda Anwar Sudaryanto dan ibunda Rina Chamidah atas segala dukungan dan doa yang tidak pernah berhenti dipanjatkan sehingga saya bisa menyelesaikan studi S1;
2. Seluruh keluarga yang senantiasa memberikan semangat dan doa untuk saya;
3. Bapak Ir Ahmad Syuhri, M.T. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing selama penulis menjadi mahasiswa;
4. Bapak Aris Zainul Muttaqin, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama, Bapak Danang Yudistiro, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran serta perhatiannya guna memberikan bimbingan dan arahan demi terselesaikannya skripsi ini;
5. Bapak Mahros Darsin, S.T., M.Sc., Ph.D. selaku dosen penguji 1 dan Bapak Santoso Mulyadi, S.T., M.T. selaku dosen penguji 2 yang telah memberikan saran dan kritikan yang membangun untuk penyusunan skripsi ini;
6. Seluruh staf pengajar dan administrasi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah memberikan ilmu, membimbing, dan membantu kelancaran saya selama saya duduk di bangku perkuliahan.
7. Tim riset yang telah dengan sabar bersedia menemani dan memberikan saran selama proses awal hingga akhir penelitian saya;

8. Dulur-dulur Teknik Mesin 2014 yang telah berjuang bersama, dan telah membantu terselesaikannya skripsi ini;

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, karena sempurna hanya milik Allah SWT. Harapan penulis adalah supaya informasi dari skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi penulis dan pembaca.

Jember, Juli 2019

Penulis

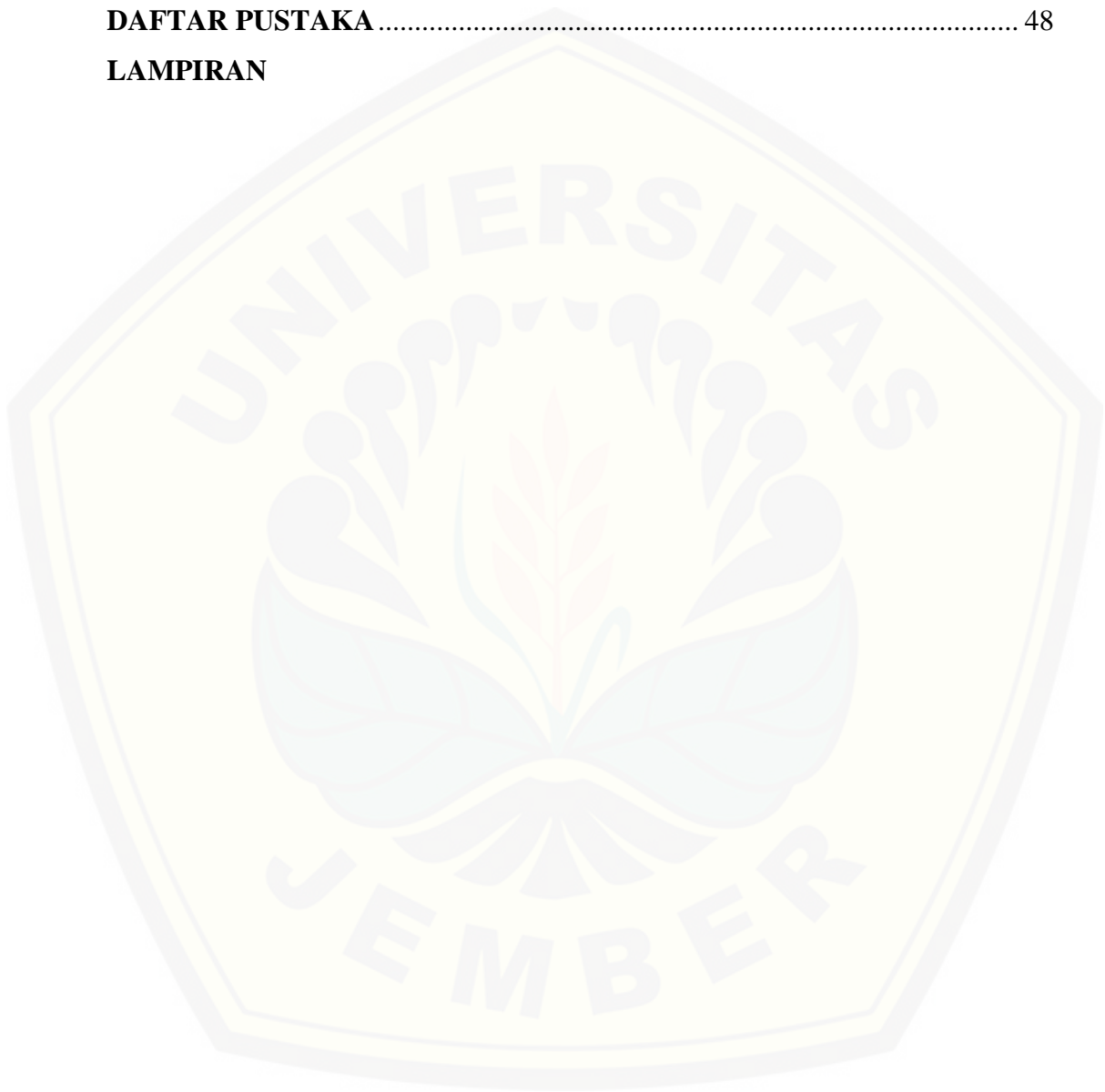


DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
HALAMAN MOTO	iv
HALAMAN PERNYATAAN	v
HALAMAN PEMBIMBINGAN	vi
HALAMAN PENGESAHAN	vii
RINGKASAN	viii
PRAKATA	xii
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR GAMBAR	xviii
DAFTAR LAMPIRAN	
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Hipotesa	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Pengertian Metal Injeksi Molding (MIM)	5
2.2 Proses <i>Mixing</i>	6
2.2.1 <i>Feedstock</i>	6
2.3 Proses Molding	8
2.3.1 Langkah-Langkah Proses Injection Molding.....	9
2.4 Proses <i>Debinding</i>	10
2.4.1 <i>Debinding katalitik</i>	11

2.4.2	<i>Thermal Debinding</i>	11
2.4.3	<i>Solvent Debinding</i>	11
2.5	Proses Sintering	15
2.6	Metode Taguchi	15
2.6.1	Rancangan Percobaan Taguchi	17
2.6.2	Optimasi Taguchi.....	24
2.6.3	Interval Kepercayaan	24
BAB 3.	METODOLOGI PENELITIAN	26
3.1	Waktu dan Tempat Penelitian	26
3.2	Alat dan Bahan	26
3.2.1	Alat.....	26
3.2.2	Bahan	27
3.3	Variabel Penelitian	28
3.3.1	Variabel Bebas	28
3.3.2	Variabel Respon.....	28
3.3.3	Variabel Konstan	28
3.4	Rancangan Percobaan	28
3.4.1	Pengaturan Variabel pada Proses <i>solvent debinding</i>	28
3.4.2	Pemilihan Matriks Ortogonal.....	29
3.4.3	Analisis Variansi dan Persen Kontribusi	30
3.5	Langkah-langkah Percobaan	31
3.6	Pengambilan Data	32
3.7	Diagram Alir	33
BAB 4.	PEMBAHASAN	35
4.1	Data Percobaan	35
4.1.1	Data Pengurangan Berat	35
4.2	Pengolahan dan Analisis Data S/N ratio	36
4.3	Pengujian Asumsi Residual	37
4.4	Hasil Optimasi Data	40
4.5	Analisis of Varian (ANOVA)	42
4.6	Prediksi Respon Optimum	44

4.8 Pembahasan Pengaruh Parameter.....	46
BAB 5. PENUTUP.....	47
5.1 Kesimpulan.....	47
5.2 Saran.....	47
DAFTAR PUSTAKA.....	48
LAMPIRAN	



DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Sifat Fisik Aluminium	7
Tabel 2.2 Karakteristik parafin wax.....	13
Tabel 2.3 Karakteristik Asam Stearat	14
Tabel 2.4 Matriks Ortogonal $L_9 (3^2)$	19
Tabel 2.5 Tabel Analisis Variansi dua arah tanpa interaksi.....	21
Tabel 3.1 Variabel-variabel proses yang digunakan	29
Tabel 3.2 Total Derajat Kebebasan Parameter Kendali	29
Tabel 3.3 Matrix Ortogonal L_9	29
Tabel 3.4 Pengolahan Data Uji Coba	30
Tabel 3.5 Hasil ANOVA dan kontribusi variabel proses	31
Tabel 4.1 Hasil pengambilan data.....	35
Tabel 4.2 Presentase penurunan berat.....	36
Tabel 4.3 Data perhitungan S/N ratio	37
Tabel 4.4 Presentase penurunan berat pada setiap level parameter	40
Tabel 4.5 Hasil ANOVA dan kontribusi parameter dengan perhitungan S/N rasio.....	43

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Proses MIM.....	5
Gambar 2.2 <i>Granule Feedstock</i>	6
Gambar 2.3 Mesin Injection Molding tipe pneumatik.....	8
Gambar 2.4 Proses Solvent Debinding	12
Gambar 2.5 Reaksi polimerasi polypropylene	13
Gambar 2.6 Matriks Ortogonal	19
Gambar 3.1 Spesimen uji Tarik ASTM A370	27
Gambar 3.2 Proses Kerja Solvent Debinding	32
Gambar 3.3 Diagram Alir Penelitian	33
Gambar 4.1 Plot ACF	38
Gambar 4.2 Plot Uji Homogen	38
Gambar 4.3 Plot Uji Distribusi Normal	39
Gambar 4.4 Plot for S/N rasio.....	41
Gambar 4.5 Plot for S/N rasio.....	41

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Metal Injection Molding (MIM) adalah teknologi pembentukan logam yang menggabungkan proses injeksi dengan proses metalurgi serbuk. MIM merupakan proses pembentukan yang berfokus pada forming dan sintering serbuk logam (German, 2011). MIM dapat menghemat biaya dalam memproduksi komponen yang kecil, rumit dan presisi dalam jumlah yang banyak (Nor, et al., 2011). Proses MIM terdiri dari 4 tahapan proses yang utama yaitu: *mixing*, *molding*, *debinding* dan *sintering*. Pada proses *mixing* bubuk halus dari logam dicampur dengan ukuran tertentu dengan bahan pengikat yang biasa disebut *feedstock* untuk kemudian dicetak dengan menggunakan mesin injeksi molding. Produk hasil dari mesin injeksi ini biasanya disebut *greenpart*, yang kemudian dipanaskan pada suhu tertentu untuk mengeluarkan material pengikatnya (*debinding*) dan melelehkan permukaan butir logam hingga saling mengikat (*sintering*). Pada pembuatan *feedstock*, pemilihan serbuk aluminium dipilih karena memiliki keuntungan besar untuk digunakan sebagai bahan unggul dalam aplikasi teknologi canggih. Karena memiliki sifat yang tahan panas dan konduktivitas listrik serta sifat mekanik yang sangat baik. Aluminium biasanya digunakan pada bidang otomotif, bidang dirgantara, elektronik, dan pertahanan (Abdoos dan H. Khorsand A. 2014).

Dalam proses MIM, *debinding* dibagi menjadi tiga yaitu *thermal debinding*, *solvent debinding* dan *katalitik debinding*. Proses *thermal debinding* umumnya dianggap memakan waktu, di mana laju debinding sering sangat lambat dan durasi debinding biasanya memakan waktu beberapa jam. Teknik ini kemudian dikombinasikan dengan teknik pelarut (*solvent*) untuk mempercepat kecepatan laju debinding (Omar, et al, 2001). Selama proses *solvent debinding*, komponen *greenpart* dilarutkan dengan direndam ke dalam larutan, misalnya: air, heksana dan heptana, sehingga berat *greenpart* akan mengalami penurunan dikarenakan pengikatnya sudah terlarut.

Penelitian yang dilakukan Sarizal Md Ani, et al., (2013) didapatkan kehilangan *paraffin* sepenuhnya terjadi pada suhu 70°C menggunakan *solvent* jenis heptana dengan komposisi *feedstock* alumina (86.5% berat), dan komposisi binder 50wt% HDPE, 46wt% PW, dan 4wt% SA. Penelitian yang dilakukan Mohd Ruzi Haruna, et al., (2012). Dengan komposisi bahan baku MIM serbuk magnesium ZK60 64 vol.% dan komposisi binder 60/40 wt. % dari PS / PE. Suhu yang digunakan untuk mendapatkan penurunan massa pengikat sepenuhnya adalah 70°C dalam waktu 3 jam, namun pada suhu tersebut didapati cacat. Sedangkan penelitian yang dilakukan Mandy Seerane, et al., (2014) bahwa presentase penurunan berat terbanyak terjadi pada suhu 65°C dalam waktu 4 jam pada spesimen dengan bahan Ti6Al4V.

Dari penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, penelitian ini berfokus pada proses *solvent debinding* dengan memvariasikan suhu dan waktu terhadap presentase penurunan berat pada *greenpart* dengan hilangnya pengikat *paraffin wax* yang terlarut oleh *solvent*. Komposisi *feedstock* serta jenis *solvent* yang digunakan berbeda dari peneliti sebelumnya yaitu: 60% serbuk aluminium dan 40% pengikat. Pengikat yang digunakan terdiri dari 17% *Polypropilrene*, 21,1% *Paraffin wax* dan 1,9% *Stearic Acid*. Peneliti menggunakan *n-heksana* sebagai jenis *solvent* pada proses *debinding*. Dengan melakukan eksperimen ini tentu dibutuhkan metode perancangan eksperimen dalam menentukan optimasi parameter proses untuk mengetahui parameter yang berpengaruh dalam proses *debinding*. Metode yang digunakan pada penelitian adalah metode *taguchi*. Karena *Taguchi* merupakan salah satu metode perancangan eksperimen dalam menentukan optimasi parameter proses “*Taguchi* mengembangkan desain eksperimen dengan memanfaatkan sifat desain kokoh atau *robust design*” (Hartono 2001). “Metode *Taguchi* juga merupakan alat yang kuat untuk perancangan sistem kualitas tinggi” (Nor, et al. 2013).

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Bagaimana pengaruh parameter suhu dan waktu proses *solvent* debinding terhadap *greenpart*
- b. Mengaplikasikan metode Taguchi untuk mendapatkan hasil presentase penurunan berat yang akurat

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. *Greenpart* dianggap homogen
- b. Tidak membahas proses perpindahan panas yang terjadi dalam proses *solvent debinding*
- c. Pada saat pengambilan data mesin dan alat ukur yang digunakan dianggap telah terkalibrasi

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian dilakukan dengan tujuan sebagai berikut:

- a. Mengetahui pengaruh suhu dan waktu pada proses *solvent debinding*
- b. Mengetahui pengurangan berat pada *greenpart*

1.5 Manfaat

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Dapat mengetahui pengaruh suhu dan waktu terhadap massa *greenpart* selama proses *solvent debinding*.
- b. Dapat menentukan parameter suhu dan waktu yang lebih optimum pada proses *solvent debinding*.

1.6 Hipotesa

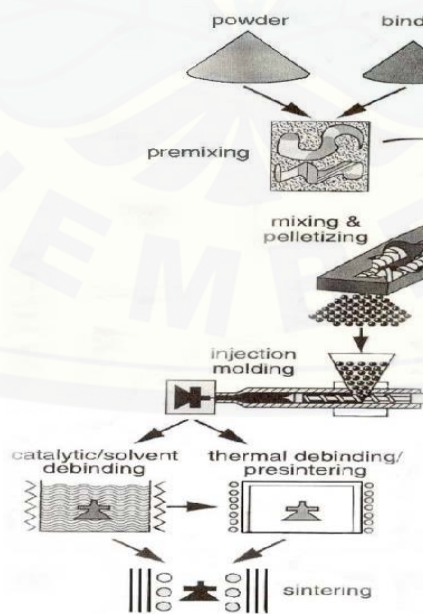
Berdasarkan pengamatan yang telah dilakukan para peneliti sebelumnya dapat ditarik sebuah hipotesa awal yaitu, suhu yang lebih tinggi akan berpengaruh terhadap berat greenpart



BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Metal Injeksi Molding (MIM)

Metal injection moulding (MIM) adalah proses pengerjaan logam di mana logam bubuk halus dicampur dengan bahan pengikat untuk membuat "bahan baku" yang kemudian dibentuk dan dipadatkan menggunakan cetakan injeksi. Prinsip metal injection molding pada dasarnya mirip sekali dengan plastik injection moulding, hanya saja material yang digunakan berbeda karena memiliki campuran seperti lilin dan bubuk logam. MIM terdiri dari 4 tahapan proses yang utama yaitu: *mixing*, *molding*, *debinding*, dan *sintering*. Pada proses *mixing* bubuk halus dari logam dicampur dengan ukuran tertentu dengan bahan pengikat yang biasa disebut feedstock untuk kemudian dicetak dengan menggunakan mesin injeksi molding (*greenpart*). Produk hasil dari mesin injeksi ini kemudian dipanaskan pada suhu tertentu untuk mengeluarkan material pengikatnya (*debinding*) dan melelehkan permukaan butir logam hingga saling mengikat (*sintering*). Gambar proses MIM dapat dilihat pada Gambar 2.1 di bawah ini.



Gambar 2.1 Proses MIM (German 2011)

2.2 Proses *Mixing*

Mixing merupakan proses pencampuran serbuk dan *binder* kemudian digranulasi menjadi pelet dengan ukuran sekitar 5-7 mm. Campuran serbuk dengan binder yang berbentuk *pellet/granule* inilah yang disebut dengan *feedstock*, yang kemudian digunakan sebagai bahan baku pada mesin injection molding. Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi proses pencampuran (*mixing*) yaitu waktu *mixing*, temperatur *mixing*, ukuran serbuk, bentuk dan distribusi serbuk, formulasi binder, laju geser dan powder loading (Enneti R.K, et al., 2012).

2.2.1 *Feedstock*

Seluruh proses MIM pada dasarnya didasarkan pada sifat dan konstituensi bahan baku (*feedstock*). Bahan baku terdiri dari dua komponen utama: pengikat dan bubuk logam. Rasio perbandingan umumnya sekitar 60% serbuk logam dan 40% *binder*. Bentuk *feedstock granule* dapat dilihat pada Gambar 2.2



Gambar 2.2 *Granule feedstock* (Abdoos, et al., 2014)

a. Serbuk Logam

Bubuk adalah istilah yang menggambarkan kumpulan partikel halus. Sifat-sifat bubuk adalah produk kumulatif dari karakteristik partikel. Karakteristik partikel akan mempengaruhi setiap langkah proses MIM. Ukuran dan bentuk partikel misalnya akan mempengaruhi gesekan antar partikel, kerapatan pengepakan, reologi dan sebagainya. Proses pencetakan injeksi akan

dipengaruhi oleh karakteristik yang disebutkan di atas oleh kemudahan pencetakan dan keausan pahat. Jenis dan tingkat logam juga akan memainkan perannya pada cetakan karena akan mempengaruhi berat partikel (Heaney, 2012). Pemilihan serbuk logam jenis aluminium sering di gunakan pada proses MIM karena memiliki sifat yang relatif ringan dan mempunyai ketahanan terhadap korosi yang baik, serta memiliki hantaran listrik yang baik dan lain sebagainya. Adapun sifat fisik dari aluminium dapat dilihat pada Table 2.1 di bawah ini:

Tabel 2.1 Sifat-sifat fisik Aluminium (Prof. Tata dan Prof. Shinroku, 1992)

Sifat – sifat	Kemurnian Al (%)	
	99,996	99,0– 99,996
Massa Jenis (20 ^o)	2,6989	2,71
Titik Cair	660,2	653,657
Panas Jenis (cal/g.°C) (100%)	0,2226	0,2297
Hantaran Listrik (%)	64,94	59 (dianil)
Tahanan Listrik Koefisien	0,00429	0,0115
Temperatur (°C)		
Koefisien Pemuaian (20-100%)	$23,86 \times 10^{-6}$	$23,5 \times 10^{-6}$
Jenis Kristal, Konstanta kisi	<i>fcc</i> , a=4,013kX	<i>fcc</i> , a=4,04kX

b. Binder

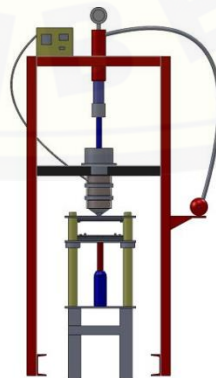
Komponen kedua untuk membuat bahan baku adalah pengikat. Sementara serbuk logam adalah apa yang memberikan sifat struktural pada komponen jadi. Peran pengikat adalah untuk memberikan campuran bahan baku dengan sifat mudah dibentuk dan menahan bentuk selama pembuatan.

Pengikat MIM terdiri dari tiga komponen utama; sebuah polimer, bahan pengisi dan surfaktan. Dari ketiga komponen ini, polimer dan bahan pengisi merupakan bagian terbesar dari bahan pengikat. Bahan pengisi biasanya beberapa jenis lilin atau bahan seperti lilin. Polimer dan lilin biasanya membuat proporsi pengikat yang serupa. Dengan memiliki kedua komponen dengan jumlah yang kira-kira sama, interkoneksi yang baik dalam setiap bahan dicapai di seluruh bagian yang dicetak. Biasanya salah satu dari komponen utama ini akan mencapai 20 hingga 80% dari binder. Perbedaan

berat molekul dan struktur kimia membuat polimer dan lilin tidak saling bercampur, yang membantu komponen pengikat mengekstraksi secara terpisah selama debinding. Perbedaan suhu titik lebur antara komponen adalah atribut utama untuk memfasilitasi penghapusan selektif komponen terpisah selama proses MIM. Lilin cenderung memiliki suhu leleh rendah ($<100^{\circ}\text{C}$) sedangkan polimer cenderung lebih tinggi ($>100^{\circ}\text{C}$). Ini menunjukkan bahwa fase lilin adalah yang pertama dari komponen utama yang harus dihilangkan, ini terjadi selama debinding. Kondisi pengikisan tidak cukup keras bagi polimer untuk terdegradasi.

2.3 Proses Molding

Injeksi molding adalah metode pembentukan material termoplastik di mana biji-biji plastik yang telah dilelehkan oleh heater lalu ditekan oleh injector dengan tekanan yang ditentukan mengalir menuju cetakan yang didinginkan oleh air sehingga mengeras. Sembilan puluh persen injeksi molding adalah memproses material termoplastik. Injection molding mengambil porsi sepertiga dari keseluruhan resin yang dikonsumsi dalam pemrosesan termoplastik. Sekarang ini bisa dipastikan bahwa setiap kantor, kendaraan, rumah, pabrik terdapat barang-barang dari plastik yang dibuat dengan cara injeksi molding, misalnya pesawat telepon, printer, keyboard, mouse, rumah lampu mobil, dashboard, reflektor, roda gigi, helm, televisi, sisir, roda furnitur, telepon seluler, dan masih banyak lagi yang lain. Mesin injeksi molding tipe pneumatik bisa dilihat pada Gambar 2.3



Gambar 2.3 Mesin *injection molding* tipe pneumatik (Oktaviandi, 2012)

Pada proses *injection molding* terdapat beberapa keuntungan dan kerugian jika menggunakan mesin *injection molding*. Adapun keuntungan yang didapat yaitu produk yang dibuat dapat diproduksi secara massal, produk dapat dibuat dengan ukuran kecil ataupun ukuran besar, biaya produksi per satuan produk relatif murah, pada pembuatan produk dalam dilakukan dengan cara otomatis. Sedangkan kerugian yang didapat dengan menggunakan mesin *injection molding* yaitu pembuatan cetakan (*mold*) relatif mahal, harga mesin dan perlengkapan yang dibutuhkan relatif mahal, pada proses pengendalian rentan terhadap kerusakan.

2.3.1 Langkah-Langkah Proses Injection Molding

Proses pembuatan produk pada mesin *injection molding* terdapat langkah-langkah utama yang bertujuan agar specimen yang dihasilkan sesuai dengan dimensi yang diharapkan dan memiliki kualitas yang baik sesuai standar yang berlaku. Adapun langkah-langkah yang harus dilakukan adalah sebagai berikut:

a. *Clamping*

Clamping unit berfungsi untuk membuka dan menutup mold. Clamping unit juga berfungsi untuk menahan cetakan (*mold*) dengan cara memberikan penahan pada clamping pressure agar biji plastik yang dicairkan lalu diinjeksi tidak keluar dari cetakan (*mold*). Pada clamping unit terdapat dwelling untuk memastikan cetakan (*mold*) terisi penuh oleh plastik yang telah meleleh, injector untuk menekan biji plastik yang meleleh ke cetakan (*mold*) melalui sprue pendingin, ejector berfungsi untuk mengeluarkan hasil produk dari cetakan (*mold*) (Sunaryo, 2015).

b. *Injection*

Pada proses *injection*, material plastik yang berbentuk biji atau butiran dimasukkan ke dalam barrel mesin *injection molding* melalui hopper. Selanjutnya dilakukan pelelehan pada material plastik diikuti dengan berputarnya screw yang berfungsi untuk mengaduk dan mencampur plastik serta menekannya hingga ujung barrel. Setelah biji plastik telah meleleh dan berada diujung barrel, selanjutnya dilakukan penginjeksian ke dalam cetakan (*mold*).

c. *Dwelling*

Dwelling merupakan penghentian sementara pada proses injection yang berfungsi untuk memastikan material plastik yang diinjeksikan ke dalam cetakan (mold) dengan tekanan tertentu sudah mengisi ke semua bagian-bagian cetakan. Langkah ini digunakan untuk menghindari adanya cacat pada produk akibat keropos atau weld.

d. *Cooling*

Cooling merupakan proses pendinginan dengan temperatur tertentu sehingga material plastik yang telah diinjeksikan ke cetakan dan mengisi keseluruhan bagian cetakan cepat mengeras atau menjadi solid.

e. *Mold Opening*

Mold opening merupakan proses pembukaan cetakan dengan perantara peralatan setting plate dan clamping plate. *Mold opening* dilakukan jika plastik yang diinjeksikan ke dalam cetakan benar-benar sudah mengeras.

f. *Ejection*

Ejection merupakan proses pengeluaran produk jadi dari cetakan hasil dari proses injection molding dengan menggunakan alat pendorong yang disebut ejector.

Dengan melakukan langkah-langkah tersebut dan menghasilkan produk molding, maka dilanjutkan kembali proses berikutnya dengan langkah-langkah yang sama secara berulang-ulang hingga mencapai jumlah produk yang dikehendaki.

2.4 Proses *Debinding*

Debinding adalah proses melepaskan bahan-pengikat dari bagian cetakan. Pada akhir proses pengikatan, bagian yang dihasilkan akan murni terbuat dari logam. Proses *debinding* mungkin merupakan langkah paling kritis dalam produksi MIM. Keberhasilan sangat bergantung pada seberapa hati-hati pengikat dihapus. Selama *debinding*, bagian yang dibentuk harus tahan terhadap tekanan yang dihasilkan oleh pengikat yang diekstraksi dari dalam bagian, sambil tetap mempertahankan bentuknya. *Debinding* dibagi menjadi 3 jenis yaitu *katalitik debinding*, *thermal debinding* dan *solvent debinding*.

2.4.1 *Debinding katalitik*

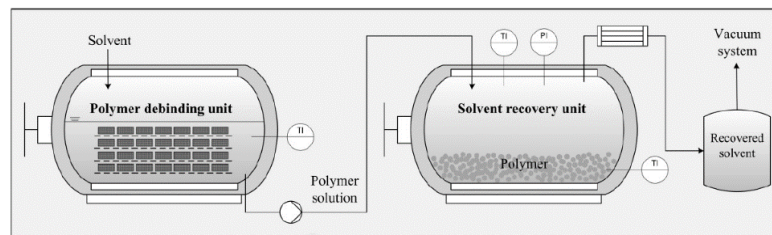
Sistem pengikat poliasetal harus didebound dalam lingkungan asam gas (biasanya asam nitrat atau oksalat terkonsentrasi tinggi) pada suhu dekat 120°C (suhu sedikit lebih rendah dari pelunakan sistem pengikat). Asam bertindak sebagai katalisator dalam degradasi sistem pengikat polimer. Semua produk reaksi dibakar dalam nyala gas alam pada suhu di atas 600°C. Metode debinding di feedstock ini sangat efisien, menghasilkan porositas yang saling berhubungan dengan baik setelah waktu yang singkat (sekitar dua atau tiga jam tergantung dari ukuran komponen). Kelemahan utama dari metode ini adalah kombinasi asam agresif (seperti nitrat) dengan suhu yang relatif tinggi mempromosikan korosi pada peralatan di sekitarnya.

2.4.2 *Thermal Debinding*

Sistem pengikat dapat dihilangkan dengan membakar polimer dengan memanaskan bahan baku di suhu di mana polimer utama terurai atau terdegradasi. Temperatur dapat mencapai 800°C tergantung pada sistem pengikat, yang membutuhkan waktu lebih lama daripada katalitik debinding.

2.4.3 *Solvent Debinding*

Sistem pengikat berbasis lilin mungkin yang paling umum dalam produksi MIM komersial dan terutama sering terjadi di Amerika Utara. Seperti namanya metode ini dimaksudkan untuk bahan baku yang terdiri dari pengikat dengan fase pengisi lilin. Sistem ini didasarkan pada kemampuan lilin untuk larut dengan mudah. Prosedurnya cukup sederhana dan mudah: bagian-bagian yang dicetak direndam dalam bak pelarut sampai bagian-bagiannya benar-benar bebas pengikat primer. Pelarut cair biasanya disimpan pada suhu di atas suhu leleh lilin untuk mempercepat proses. Pelarut cair yang digunakan untuk melarutkan pengikat berbasis lilin biasanya menggunakan heksana (Zlatkov B. S. et al., 2008). Gambar proses solvent debinding dapat dilihat pada Gambar 2.4

Gambar 2.4 Proses *solvent debinding*

a. Heksana

Heksana adalah sebuah senyawa hidrokarbon alkana dengan rumus kimia C_6H_{14} [isomer utama n-heksana memiliki rumus $CH_3(CH_2)_4CH_3$]. Awalan (heks) merujuk pada enam karbon atom yang terdapat pada heksana dan akhiran (ana) berasal dari alkana, yang merujuk pada ikatan tunggal yang menghubungkan atom-atom karbon tersebut. Heksana juga merupakan pelarut yang paling ringan dalam mengangkat minyak yang terkandung dalam biji-bijian dan mudah menguap sehingga memudahkan untuk *refluk*. Pelarut ini memiliki titik didih antara $65-70^\circ C$ (Susanti et al., 2012). Dalam keadaan standar senyawa ini merupakan cairan tak berwarna yang tidak larut dalam air. Kegunaan heksana pada proses debinding ialah untuk melarutkan *binder* pada *grennpart*.

b. Parafin Wax

Parafin adalah campuran hidrokarbon yang diekstraksi dari sulingan tertentu dari minyak bumi, serpih atau minyak mineral bitumen lainnya. Komponen utamanya adalah alkana padat yang tidak berbau dan berwarna putih atau tembus pandang berwarna kuning muda. Parafin bersifat non-kristalin, namun memiliki struktur kristal yang jelas. Parafin juga merupakan cairan yang memiliki sifat yang mudah larut dalam eter, benzena, pada minyak yang menguap, dalam hampir seluruh jenis minyak lemak yang hangat, susah larut pada etanol absolut, tidak memiliki rasa, tidak larut di dalam air, putih atau bening, tidak larut pada alkohol dan gliserin, berupa cairan minyak kental yang tembus cahaya atau sedikit buram. Adapun karakteristik Parafin wax dapat dilihat pada Table 2.2

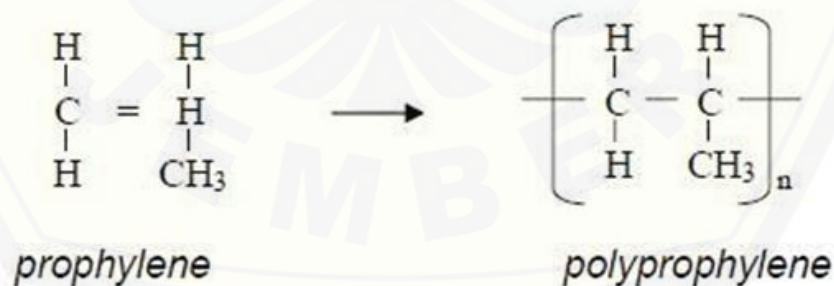
Tabel 2.2 Karakteristik parafin wax (A.Ghanbari et al., 2014)

<i>Chemical structure</i>	C ₂₀ H ₄₂
<i>Melting point (°C)</i>	75
<i>Decomposition temperature (°C)</i>	200 – 400
<i>Table density (g/cm³)</i>	0.90

c. *Polypropylene (PP)*

Polypropylene merupakan salah satu polimer yang memiliki sifat kuat dan tangguh dibandingkan jenis polimer yang lainnya. Material ini memiliki ketahanan yang baik terhadap pengikisan, keretakan, kekakuan, bahan kimia dan daya serap air yang rendah namun memiliki ketahanan pukul (impact strength) yang rendah. *Polypropylene* mempunyai titik leleh yang tinggi yaitu pada temperatur 200°C dan titik kristalisasinya antara 130°C – 135°C.

Polypropylene dibuat dengan menguraikan petroleum (naftan) dicampurkan dengan memberi hydrogen gas petroleum pada pemecahan minyak dan gas alam. Katalis ziegler-natta pada *polypropylene* diperoleh dari propylene dengan keteraturan ruang. Reaksi polimerisasi pada plastik *polypropylene* dapat dilihat pada gambar 2.5

Gambar 2.5 Reaksi polimerasi *polypropylene* (Lestari, 2016)

Massa jenis pada polimer *polypropylene* umumnya sama dengan yang dimiliki pada polimer *polyethylene* yaitu memiliki massa jenis yang rendah (0,90-0,92) g.cm⁻³ sehingga termasuk bahan polimer yang paling ringan dibandingkan dengan jenis lainnya. *Polypropylene* memiliki permukaan yang

mengkilap dengan penyusutan yang rendah pada proses pencetakan, penampilan dan ketelitian dimensinya lebih baik serta tahan kimianya lebih baik dari polyethylene.

d. *Stearic Acid* (SA)

Asam stearat (stearic acid) adalah asam lemak jenuh yang memiliki berbagai kegunaan sebagai komposisi tambahan dalam makanan, kosmetik, dan produk industri. Asam stearat diekstrak dari berbagai jenis lemak hewani, lemak nabati, dan beberapa jenis minyak lainnya. Senyawa ini juga banyak digunakan untuk mengubah konsistensi atau suhu leleh suatu produk, sebagai pelumas, atau untuk mencegah oksidasi. Banyaknya kegunaan serta biaya pembuatan yang rendah membuat asam stearat menjadi bahan populer yang digunakan dalam berbagai produk. Salah satu penggunaan paling populer asam stearat adalah dalam produksi lilin. Asam ini digunakan untuk mengeraskan dan memperkuat lilin. Asam stearat juga memiliki pengaruh pada titik leleh lilin sehingga meningkatkan daya tahan dan konsistensi nyala lilin.

Kegunaan lain asam stearat adalah mencegah oksidasi. Senyawa ini biasanya digunakan untuk melapisi serbuk logam seperti besi dan aluminium yang digunakan dalam kembang api, sehingga memungkinkannya disimpan dalam waktu lama. Asam stearat juga digunakan dalam produk poles logam untuk mencegah oksidasi dan karat. Adapun karakteristik Asam Stearat dapat dilihat pada Table 2.3

Tabel 2.3 Karakteristik Asam Stearat (A.Ghanbari dkk, 2014)

Chemical Structure	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$
Melting point ($^{\circ}\text{C}$)	63
Decomposition temperature ($^{\circ}\text{C}$)	383
Density (g/cm^3)	0.96

2.5 Proses Sintering

Sintering adalah proses yang memberikan kekuatan pada bagian MIM. Sampai sekarang bagian-bagiannya hanya disatukan oleh gesekan partikel dan bahan-pengikat. Proses sintering akan mengubah *compacts* bubuk kaku menjadi benda logam padat yang tepat. Setelah sintering bagian yang diproduksi akan menunjukkan kekuatan, kekerasan, daktilitas, ketahanan aus, konduktivitas dan bahkan kemiripan visual yang mirip dengan bagian yang diproduksi oleh metode pengerjaan logam konvensional.

Sintering adalah perlakuan termal yang membuat ikatan partikel menjadi satu. Dengan menundukkan komponen *debound* ke suhu tinggi, ikatan antara partikel bubuk logam akan mulai terbentuk. Saat proses berjalan pada partikel-partikel yang lebih erat bersama-sama menghilangkan pori-pori yang dibuat dalam *debinding* primer. Pada beberapa titik semua pori-pori akan hilang dan semua partikel akan terganggu menjadi satu massa padat dan padat. Sebagai konsekuensi, komponen akan mengalami penyusutan yang drastis. Meskipun proses sintering akan menghasilkan benda logam padat, suhu selama proses tersebut tidak akan pernah benar-benar melebihi titik leleh material. Suhu sintering sedikit di bawah suhu leleh. Selama sintering *compacts* akan mengalami jumlah tegangan yang meningkat, tetapi karena ikatan-partikel pada saat yang sama menjadi lebih kuat dampaknya tidak akan sebesar seperti selama *debinding* (Heaney, 2012).

Meskipun sintering memainkan peran besar dalam proses MIM, itu tidak dianggap sebagai metode pembentukan. Sintering terutama merupakan metode perlakuan termal untuk densifikasi. Mekanisme yang membuat partikel melebur menjadi satu tidak terbatas pada logam, keramik dan polimer juga dapat disinter, dan proses sintering adalah bagian dari semua produksi cetakan injeksi.

2.6 Metode Taguchi

Metode Taguchi adalah suatu metode di bidang teknik yang berprinsip pada perbaikan mutu atau kualitas produk dan proses, yang bertujuan untuk menekan biaya serta sumber daya manusia yang seminimal mungkin yang dapat

memperkecil akibat dari variasi tanpa menghilangkan sebab akibatnya. Metode Taguchi berupaya mencapai sasaran yang sesuai dengan menjadikan produk dan proses yang tidak sensitif terhadap berbagai faktor gangguan (*noise*), seperti material bahan, perlengkapan manufaktur, sumber daya manusia, dan kondisi operasional lainnya (Soejanto, 2009). Metode Taguchi disebut juga robust desain karena menjadikan produk dan proses memiliki sifat terhadap beberapa faktor gangguan yang terjadi. Metode Taguchi memiliki kelebihan dibandingkan metode lain yaitu sebagai berikut (Soejanto, 2009):

- a. Lebih efisien karena dapat melaksanakan penelitian yang melibatkan banyak variabel proses dan banyak level.
- b. Dapat memperoleh proses yang menghasilkan produk secara konsisten dan robust terhadap variabel yang tidak dapat dikontrol
- c. Menghasilkan kesimpulan mengenai level dari variabel proses yang menghasilkan respon optimum.

Metode Taguchi memiliki struktur rancangan yang lebih kompleks dan mengorbankan pengaruh interaksi yang signifikan. Oleh sebab itu, pemilihan rancangan penelitian harus dilakukan secara hati-hati dan sesuai dengan tujuan penelitian.

Proses evaluasi dua faktor atau lebih secara serentak terhadap kemampuan untuk mempengaruhi rata-rata atau variabilitas hasil gabungan dari karakteristik produk atau proses tertentu yang disebut dengan desain eksperimen (Soejanto, 2009). Variabel dari proses dan level variabelnya harus dibuat variasi yang sehingga didapatkan hasil dari kombinasi pengujian yang efektif. Kombinasi pengujian tertentu dapat diamati sehingga kumpulan dari hasil pengujian selengkapnya dapat dianalisis. Hasil dari analisis kemudian digunakan untuk mencari variabel yang sangat berpengaruh dan tindakan yang dapat membuat perbaikan lebih lanjut.

2.6.1 Rancangan Percobaan Taguchi

Secara umum, rancangan percobaan pada metode Taguchi dibagi menjadi dua tahap yang mencakup mengenai pendekatan penelitian. Kedua tahap tersebut sebagai berikut dijelaskan pada paragraph di bawah ini (Soejanto, 2009)

a. Tahap Perencanaan

Tahap perencanaan yaitu tahap terpenting. Pada tahap perencanaan ini seseorang peneliti diharuskan untuk mempelajari penelitian-penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya. Kecermatan pada tahap perencanaan ini akan menghasilkan penelitian yang memberikan informasi positif dan negatif. Penelitian memberikan indikasi tentang variabel dan level yang mengarah pada peningkatan performa produk yang terjadi adalah positif, begitupun sebaliknya. Langkah-langkah pada tahap perencanaan ini antara lain:

1) Perumusan Masalah

Perumusan masalah yang akan diteliti harus dirumuskan secara jelas dan spesifik sehingga dapat diterapkan kedalam penelitian yang akan dilakukan.

2) Penentuan Tujuan Penelitian.

Tujuan penelitian harus dapat menjelaskan rumusan masalah yang telah ditetapkan.

3) Penentuan Variabel Respon

Variabel respon memiliki nilai yang tergantung pada setiap variabel lain sehingga dapat disebut variabel bebas.

4) Pengidentifikasian Variabel Proses

Variabel proses merupakan variabel yang tidak tergantung pada variabel lain. Pada tahap ini, akan ditentukan variabel yang diselidiki pengaruhnya terhadap variabel respon yang bersangkutan. Dalam penelitian, tidak semua variabel yang diperkirakan mempengaruhi respon harus diselidiki. Dengan demikian dapat ditarik kesimpulan bahwa penelitian dapat dilakukan secara efektif dan efisien.

5) Pemisahan Variabel Proses dan Variabel Gangguan

Dalam percobaan menggunakan metode taguchi, variabel proses dan variabel gangguan perlu diidentifikasi dengan jelas karena pengaruhnya yang berbeda. Variabel proses yaitu variabel yang nilainya dapat dikendalikan, sedangkan variabel gangguan yaitu variabel yang nilainya tidak dapat dikendalikan atau disebut *factor noise*.

6) Penentuan jumlah dan nilai variabel proses

Pemilihan jumlah level akan mempengaruhi hasil dari penelitian. Semakin banyak level yang akan dilakukan penelitian maka hasilnya akan semakin akurat, akan tetapi biaya yang dikeluarkan juga semakin banyak.

7) Perhitungan Derajat Kebebasan

Derajat kebebasan adalah sebuah konsep untuk mendeskripsikan seberapa besar penelitian harus dilakukan dan seberapa banyak informasi yang dapat diberikan oleh penelitian tersebut. Perhitungan derajat kebebasan dilakukan untuk menentukan jumlah penelitian yang akan dilakukan untuk menyelidiki variabel proses yang akan diamati. Derajat kebebasan dari matriks ortogonal dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

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

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

$$= k_A - 1$$

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

$$= k_B - 1$$

b. Untuk interaksi, misal interaksi A dan B

$$V_{A \times B} = (k_A - 1)(k_B - 1) \dots\dots\dots (2.4)$$

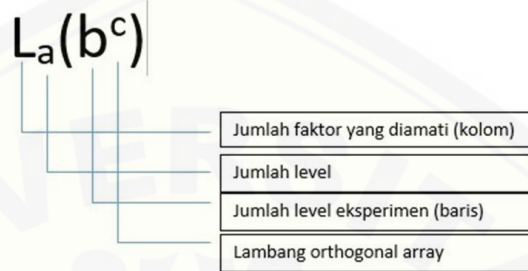
c. Nilai derajat bebas total

$$(k_A - 1) + (k_B - 1) + (k_A - 1)(k_B - 1) \dots\dots\dots (2.5)$$

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

8) Pemilihan Matriks Ortogonal

Pemilihan matriks ortogonal yang sesuai ditentukan oleh jumlah derajat kebebasan dari jumlah variabel proses dan jumlah levelnya. Matriks ortogonal memiliki kemampuan untuk mengevaluasi sejumlah variabel proses dengan jumlah percobaan yang minimum. Suatu matriks ortogonal dilambangkan dalam bentuk:



Gambar 2.6 Matriks Ortogonal (Soejanto, 2009)

Dengan:

L = jumlah faktor yang diamati (kolom)

a = jumlah level

b = banyaknya level percobaan

c = banyaknya faktor

Matriks ortogonal untuk dua level, tabel OA terdiri dari L_4 , L_8 , L_{12} , L_{16} , dan L_{32} . Sedangkan untuk tiga level tabel OA terdiri dari L_9 , L_{18} , L_{27} . Matriks ortogonal $L_9(3^2)$ adalah salah satu contoh matriks ortogonal standar ditunjukkan pada Tabel 2.4

Tabel 2.4 Matriks Ortogonal $L_9(3^2)$ (Soejanto, 2009)

Kombinasi	Kolom variabel proses	
	A	B
1	1	1
2	1	2
3	1	3
4	2	1
5	2	2
6	2	3
7	3	1
8	3	2
9	3	3

Matriks ortogonal pada Tabel 2.4 terdiri dari dua parameter kendali (A dan B) dan 3 level (1, 2 dan 3). Untuk matriks ini diperlukan sembilan kali percobaan karena berdasarkan matriks ortogonalnya terdapat 9 macam kombinasi.

b. Tahap Pelaksanaan

Tahap pelaksanaan terdiri dari dua, di antaranya adalah menentukan jumlah replikasi dan randomisasi pelaksanaan eksperimen.

1) Jumlah Replikasi

Replikasi merupakan suatu pengulangan kembali perlakuan yang sama pada kondisi yang sama dalam sebuah percobaan untuk mendapatkan ketelitian yang tinggi, mengurangi tingkat kesalahan dan memperoleh harga taksiran dari kesalahan.

2) Randomisasi

Pada percobaan, selain faktor yang diselidiki pengaruhnya terhadap suatu variabel, juga terdapat faktor lain yang tidak dapat dikendalikan atau tidak diinginkan seperti kelelahan operator, naik turunnya daya mesin, dan lain-lain. Hal tersebut dapat mempengaruhi hasil dari suatu percobaan. Pengaruh faktor tersebut diminimalisir dengan menyebarkan pengaruh selama percobaan melalui randomisasi (pengacakan) urutan dari percobaan.

c. Tahap Analisis

Pada tahap analisis ini dilakukan dengan cara pengumpulan dan pengolahan data. Tahap ini juga meliputi pengumpulan data, pengaturan data, perhitungan serta penyajian data sesuai dengan suatu percobaan yang dipilih. Tahap analisis ini juga dilakukan perhitungan dan pengujian data statistik data hasil percobaan. Metode Taguchi memiliki dua macam analisis yang dilakukan dengan tujuan yang berbeda, yaitu:

1) Analisis Rata-rata (ANOM)

Analisis rata-rata merupakan analisis yang digunakan untuk mencari kombinasi parameter kendali sehingga diperoleh hasil yang optimal sesuai tujuan penelitian. Caranya yaitu dengan membandingkan nilai rata-rata

rasio S/N setiap level dari parameter kendali dengan menggunakan grafik. Dari perbandingan tersebut diketahui apakah parameter kendali yang dimaksud berpengaruh terhadap proses atau tidak.

2) Analisis Variansi (ANOVA)

Analisis variansi merupakan teknik yang digunakan untuk analisis data untuk mencari besarnya pengaruh dari setiap parameter kendali terhadap kelangsungan suatu proses. Analisis variansi pada matriks ortogonal dilakukan dengan dasar perhitungan jumlah kuadrat untuk masing-masing kolom dengan membandingkan nilai sum of square dari suatu parameter kendali terhadap keseluruhan parameter kendali. ANOVA dua arah digunakan untuk menganalisis data percobaan yang terdiri dari dua parameter kendali atau lebih dengan dua level atau lebih. Tabel ANOVA terdiri dari perhitungan derajat kebebasan (*degree of freedom*, df), jumlah kuadrat (*sum of square*, SS), kuadrat tengah (*mean of square*, MS), dan F hitung (F_{ratio} , F_0) seperti ditunjukkan pada Tabel 2.5

Tabel 2.5 Tabel analisis variansi dua arah tanpa interaksi (Soejanto, 2009)

Sumber Variasi	Degree of freedom (df)	Sum of square (SS)	Mean of square (MS)	F hitung (F_0)
Faktor A	$V_A = kA - 1$	$SS_A = nA \sum_{i=1}^n (A_i - \bar{y})^2$	$MS_A = \frac{SS_A}{df_A}$	$\frac{MS_A}{MS_E}$
Faktor B	$V_B = kB - 1$	$SS_B = nB \sum_{i=1}^n (B_i - \bar{y})^2$	$MS_B = \frac{SS_B}{df_B}$	$\frac{MS_B}{MS_E}$
Error	$V_E = df_T - df_A - df_B$	$SS_E = SS_T - SS_A - SS_B$	$MS_E = \frac{SS_E}{df_E}$	
Total	$V_T = N - 1$	$SS_T = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$		

Diketahui :

- kA = banyaknya level pada variabel proses A
- kB = banyaknya level pada variabel proses B
- nA = banyaknya replikasi level variabel proses A
- nB = banyaknya replikasi level variabel proses B
- \bar{y} = rata-rata total
- N = jumlah total pengamatan

3) Uji distribusi F

Pengujian uji distribusi F dilakukan dengan cara membandingkan variansi yang disebabkan oleh masing-masing variabel proses dan error. Variansi error adalah variansi setiap individu dalam pengamatan yang timbul karena variabel-variabel yang tidak dapat dikendalikan. Secara umum, hipotesis yang digunakan dalam pengujian ini untuk variabel proses yang tidak diambil secara random (fixed) adalah:

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_k \dots\dots\dots (2.6)$$

H_1 : sedikitnya ada satu pasangan μ yang tidak sama

Kegagalan menolak H_0 mengindikasikan tidak adanya perbedaan rata-rata dari nilai respon yang dihasilkan pada perlakuan yang berbeda, sedangkan penolakan H_0 mengindikasikan adanya perbedaan rata-rata dari nilai respon tersebut. Respon pada setiap eksperimen dapat dimodelkan dalam bentuk (Bhattacharyya dan Johnson, 1977):

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + e_{ij} \dots\dots\dots (2.7)$$

Oleh karena itu, hipotesis yang dapat digunakan dalam pengujian ini adalah:

Untuk taraf variabel proses A $\rightarrow H_0 : \alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \dots = \alpha_i = 0$

H_1 : paling sedikit ada satu $\alpha_i \neq 0$

Untuk taraf variabel proses B $\rightarrow H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \dots = \beta_j = 0$

H_1 : paling sedikit ada satu $\beta_j \neq 0$

Kegagalan menolak H_0 mengindikasikan tidak adanya pengaruh variabel proses A dan variabel proses B terhadap respon serta tidak ada interaksi antara variabel proses A dengan variabel proses B, sedangkan penolakan H_0 mengindikasikan adanya pengaruh variabel proses A dan variabel proses B terhadap respon serta adanya interaksi antara variabel proses A

dengan variabel proses B. Kegagalan menolak atau penolakan H_0 berdasarkan pada nilai F_{hitung} yang dirumuskan:

$$\text{Untuk taraf variabel proses A} \rightarrow F_{hitung} = \frac{MS_A}{MS_E} \dots \dots \dots (2.8)$$

$$\text{Untuk taraf variabel proses B} \rightarrow F_{hitung} = \frac{MS_B}{MS_E} \dots \dots \dots (2.9)$$

Kegagalan menolak H_0 pada masing-masing kasus dilakukan jika mengalami kondisi berikut:

$$\text{Untuk taraf variabel proses A} \rightarrow F_{hitung} < F\alpha, v_A, v_E \dots \dots \dots (2.10)$$

$$\text{Untuk taraf variabel proses B} \rightarrow F_{hitung} < F\alpha, v_B, v_E \dots \dots \dots (2.11)$$

Bila menggunakan perangkat lunak statistik, kegagalan menolak H_0 dilakukan jika Pvalue lebih besar daripada α (taraf signifikansi). Kegagalan menolak H_0 bisa juga dilakukan apabila nilai $F_{hitung} > 2$ (Park, 1996).

4) Rasio S/N

Rasio S/N (*signal to noise ratio*) digunakan untuk memilih variabel-variabel proses yang memiliki kontribusi dalam mengurangi variansi, mengetahui level variabel proses mana yang berpengaruh terhadap hasil eksperimen dan meminimalkan karakteristik kualitas terhadap variabel gangguan. Perhitungan rasio S/N tergantung dari jenis karakteristik kualitas, yaitu:

a) Semakin kecil semakin baik (*Smaller the better*)

Semakin kecil semakin baik adalah karakteristik kualitas dengan batas nilai 0 dan non negatif, sehingga nilai semakin kecil atau mendekati nol adalah nilai yang diinginkan. Rasio S/N untuk karakteristik ini dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut (Park, 1996):

$$S/N = -10 \log \left[\sum_{i=1}^n \frac{y_i^2}{n} \right] \dots \dots \dots (2.12)$$

dengan:

n = jumlah data

i = data respon pengukuran

b) Tertuju pada nilai tertentu (*Nominal the best*)

Karakteristik ini adalah karakteristik kualitas dengan nilai/target tidak nol dan terbatas, sehingga nilai yang semakin mendekati target tersebut adalah nilai yang diinginkan. Rasio S/N untuk karakteristik ini dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut (Park, 1996):

$$S/N = - 10 \log \left[\sum_{i=1}^n \frac{(y_i - \bar{y})^2}{n} \right] \dots\dots\dots(2.13)$$

c) Semakin besar semakin baik (*Larger the better*)

Semakin besar semakin baik adalah karakteristik kualitas dengan rentang nilai tak terbatas dan non negatif sehingga nilai yang semakin besar adalah nilai yang diinginkan. Rasio S/N untuk karakteristik ini dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut (Park, 1996):

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

2.6.2 Optimasi Taguchi

Optimasi adalah usaha mencari faktor dan level yang berpengaruh dari terhadap faktor utama tersebut agar menghasilkan *output* yang mempunyai kualitas yang baik dan seragam pada setiap hasilnya. Ada banyak metode yang digunakan untuk optimasi diantaranya adalah metode Taguchi, *Response surface*, dan lain-lain. Masing-masing dari metode tersebut memiliki kelebihan dan kekurangan. Metode optimasi dengan metode Taguchi dilakukan dengan mencari harga rasio *signal to noise* (S/N) dengan kombinasi taraf faktor yang menghasilkan respon yang optimum. Respon optimum dapat dimodelkan dengan persamaan berikut:

$$\mu \text{ prediksi} = Y + (A - Y) + (B - Y) \dots\dots\dots(2.15)$$

dengan:

μ = rata-rata prediksi pada kondisi optimum

Y = rata-rata pengukuran

A,B,C = faktor yang berpengaruh

2.6.3 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 optimum dapat dihitung menggunakan rumus (Ross, 1988).

$$CI_p = \sqrt{\frac{F_{(\alpha,1,ve)} MSE}{N_{eff}}} \dots\dots\dots(2.16)$$

dengan:

CI_p = interval kepercayaan

$F_{(\alpha,1,ve)}$ = harga derajat kebebasan

N_{eff} = jumlah pengamatan efektif

$$= \frac{\text{jumlah total eksperimen}}{1 + \text{jumlah derajad kebebasan}}$$

Interval kepercayaan untuk rata-rata proses optimum dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut (Ross, 1988):

$$\mu \text{ prediksi} - CI_p \leq \mu \leq \mu \text{ prediksi} + CI_p \dots\dots\dots(2.17)$$

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Jember Jl. Bondowoso no.87 krajan, Kecamatan Patrang Kabupaten Jember Jawa Timur waktuk penelitian dijadwalkan bulan Maret 2019.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

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

Model Mesin : Injection molding tipe pneumatik

Dimensi : 550 x 500x 1060 mm

Tegangann Listik : 220 volt/ 50 hz/ 600 watt

Tekanan Kompresor : 8 bar

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

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

Dimensi : 235 x 300 x 98 mm

Tegangan Listrik : 220 volt/ 50 hz/ 300 - 600 watt

3. Peralatan Ukur

Peralatan ukur yang digunakan pada penelitian ini antara lain sebagai berikut:

- a) *Thermocontrol*

Alat ini digunakan untuk mengontrol temperatur heater kompor listrik, agar mendapatkan suhu yang sesuai.

- b) *Stopwatch*

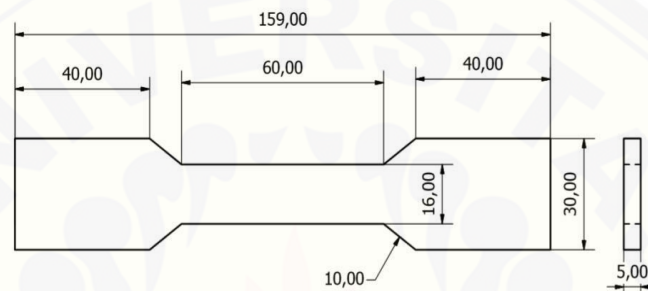
Alat ini digunakan untuk mengukur waktu pada saat proses *debinding*

c) Timbangan *Digital*

Alat ini di gunakan untuk mengukur berat dari greenpart sebelum di debinding dan sesudah dilakukan proses debinding

3.2.2 Bahan

Penelitian ini menggunakan bahan dasar plastik jenis PP (Polypropylene), PW (Parafin Wax), SA (Stearic Acid) dan Serbuk aluminium yang dicetak sesuai dengan desain spesimen uji tarik ASTM A370.



Gambar 3.1 Spesimen uji Tarik ASTM A370

Bahan yang digunakan pada penelitian ini antara lain sebagai berikut:

1. Binder

Binder yang di gunakan pada *feedstock* terdiri dari

a) Polypropylene (PP)

Bahan (PP) digunakan sebagai tulang punggung untuk menjaga bentuk setelah melalui proses debinding

b) Parafin Wax (PW)

Bahan (PW) digunakan untuk membantu proses pengikatan pada serbuk Aluminium dan (PP)

c) Stearic Acid (SA)

Bahan (SA) di gunakan sebagai pendukung dari bahan parafin

2. Serbuk Al Aluminium

Bahan serbuk aluminium di gunakan karena mempunyai keuntungan pada bidang teknologi

3. Heksana

Bahan heksana di gunakan untuk membantu melarutkan binder pada proses debinding

3.3 Variable Penelitian

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

3.3.1 Variabel Bebas

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

- a. Suhu (°C)
- b. Waktu (Jam)

3.3.2 Variabel Respon

Variabel respon adalah variabel yang diamati dalam penelitian. Nilai variabel ini dipengaruhi oleh nilai-nilai variabel proses yang telah ditentukan. Berikut adalah variabel respon yang digunakan dalam penelitian ini yaitu presentase penurunan berat *Greenpart*

3.3.3 Variabel Konstan

Variabel konstan adalah variabel yang tidak termasuk dalam penelitian. Nilai dari variabel ini konstan dan tidak berubah selama percobaan, sehingga mempengaruhi variabel respon. Variabel-variabel yang menjadi variabel konstan pada penelitian ini adalah suhu ruangan (°C)

3.4 Rancangan Percobaan

3.4.1 Pengaturan variabel pada proses solvent debinding

Tujuan dalam proses debinding adalah melarutkan pengikat *feedstock* yaitu: paraffin wax yang bisa diukur dengan berkurangnya berat *greenpart* setelah melalui proses debinding. Faktor yang akan dievaluasi adalah faktor berpengaruh

terhadap proses debinding. Faktor yang terkontrol pada proses debinding adalah suhu debinding, dan waktu proses debinding. Faktor terkontrol adalah parameter-parameter yang nilainya dapat dikendalikan (Hartono, 2001).

Table 3.1 Variabel-variabel proses yang digunakan

Kode	Variabel Proses	Satuan	Level 1	Level 2	Level 3
A	Suhu	°C	40	50	60
B	Waktu	Jam	1	2	3

3.4.2 Pemilihan Matriks Ortogonal

Pemilihan matriks ortogonal yaitu berdasarkan parameter kendali yang akan digunakan dan jumlah level dari setiap parameter kendali. Matriks ortogonal harus memiliki derajat kebebasan yang sama atau lebih besar daripada total derajat kebebasan parameter-parameter kendali yang telah ditetapkan. Pada penelitian ini tidak terjadi interaksi antar parameter kendali.

Tabel 3.2 Total Derajat Kebebasan Parameter Kendali

No	Parameter Kendali	Jumlah Level	df = k-1
1	suhu	3	2
2	Waktu	3	2
		Total	4

Tabel 3.2 menunjukkan bahwa total derajat kebebasan pada parameter kendali adalah 4. Maka matriks ortogonal yang sesuai untuk percobaan dengan derajat kebebasan delapan adalah $L_9(3^2)$.

Tabel 3.3 Matrix Ortogonal L_9

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

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

Tabel 3.4 Pengolahan Data Uji Coba

No Percobaan	Control Factor		Penurunan Berat(%)
	Parameter A	Parameter B	
1	1	1	
2	1	2	
3	1	3	
4	2	1	
5	2	2	
6	2	3	
7	3	1	
8	3	2	
9	3	3	

3.4.3 Analisis Variansi dan Persen Kontribusi

Analisis variansi (ANOVA) merupakan cara untuk mencari variabel proses yang berpengaruh signifikan dan mencari besarnya kontribusi terhadap variabel respon. Pada penelitian ini, analisis variansi dilakukan menggunakan S/N rasio yang merupakan respon yang mewakili keseluruhan dari seluruh respon. Perhitungan ANOVA S/N rasio dari tiap-tiap variabel proses dapat dihitung menggunakan rumus yang terdapat pada Tabel 2.5:

Perhitungan analisis variasi dilakukan menggunakan rumus pada tabel 2.5 adalah sebagai berikut:

- a. Menghitung jumlah kuadrat total (*sum of square*)

$$SST = \sum (y_i - \bar{y})^2 \quad n \quad i=1 \dots \dots \dots (3.1)$$

- b. Menghitung jumlah kuadrat setiap variabel proses (*sum of square*)

$$SSA = n_A \sum (A_i - \bar{y})^2 \quad n \quad i=1 \dots \dots \dots (3.2)$$

- c. Menghitung kuadrat tengah (*mean of square*)

$$MSA = SSA/df_A \dots \dots \dots (3.3)$$

Hasil dari perhitungan diatas pada setiap analisis variabel proses kemudian dimasukkan ke dalam Tabel 3.5.

Tabel 3.5 Hasil ANOVA dan kontribusi variabel proses

Variabel proses	DF	SS	MS	F	P value	ρ
Suhu						
Waktu Tahan						
PPB						
Total						

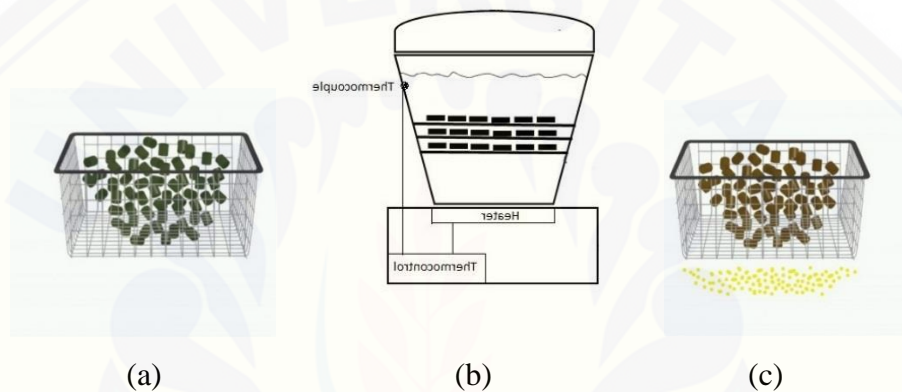
3.5 Langkah-langkah Percobaan

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

- a. Mempersiapkan peralatan, benda kerja, bahan plastik dan campuran:
 - 1) Timbang *feedstock* plastik polypropylene, paraffin wax, stearic acid dan serbuk aluminium, yang akan digunakan saat penelitian.
 - 2) Lakukan proses *mixing* dari bahan polypropylene, paraffin wax, stearic acid dan serbuk aluminium
 - 3) Membersihkan *mold base* dari kotoran sisa-sisa dari bahan hasil penginjekan sebelumnya.
- b. Memasang *mold base* pada ragum *injection molding* kemudian dikencangkan dan atur kelurusannya antara *mold* dan *nozzle*.
- c. Kemudian *feedstock* di cetak dengan mesin injeksi molding dengan parameter yang telah di tetapkan menjadi *greendpart*
- d. Menimbang *greenpart*. Menggunakan timbangan digital yang akurat
- e. Memasang panci pada kompor listrik dan mengisi panci dengan cairan heksana.

- f. Memasukan *greenpart* pada panci yang berisi cairan heksana. dapat dilihat pada Gambar 3.2 proses kerja solvent debinding (a).
- g. Melakukan setting parameter yang sudah di tentukan pada proses debinding. dapat dilihat pada Gambar 3.2 proses kerja solvent debinding (b).
- h. Menimbang *greenpart* untuk mengetahui seberapa besar massa binder pada *gr* berkurang dapat dilihat pada Gambar 3.2 proses kerja solvent debinding (c).

Gambar 3.2 Proses kerja solvent debinding

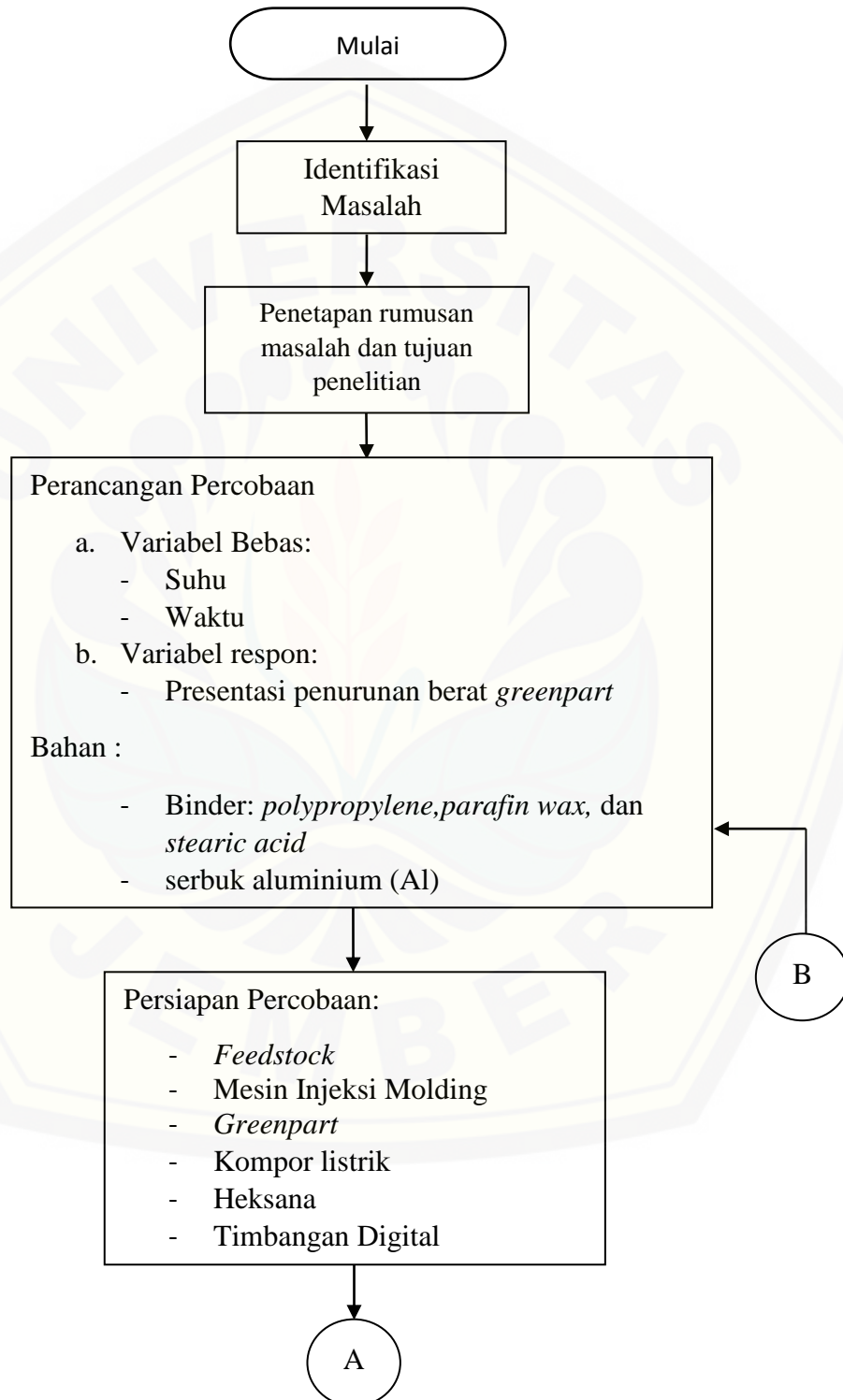


3.6 Pengambilan Data

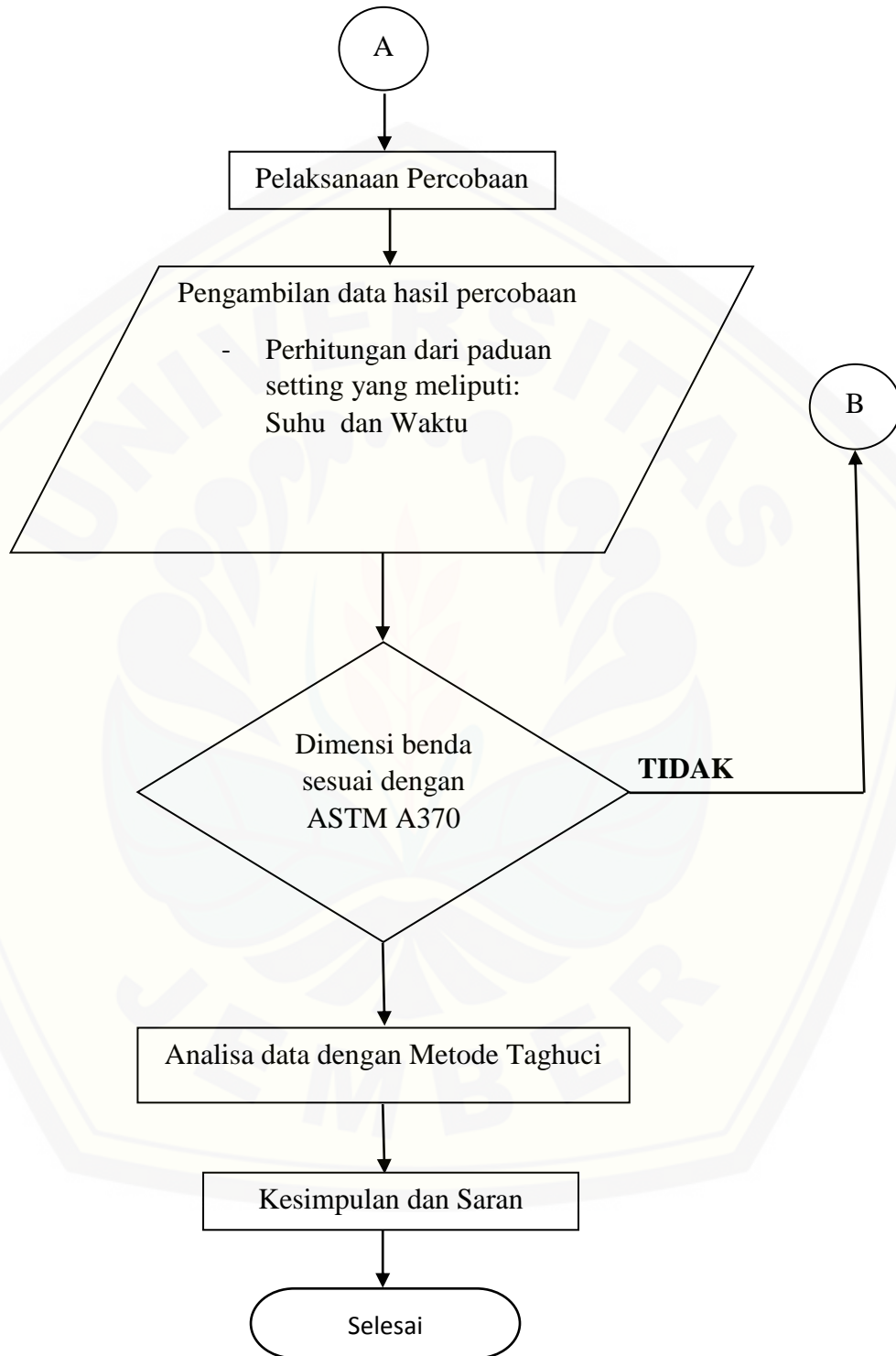
Nilai pengurangan massa dapat diketahui dengan cara membandingkan berat *greenpart* sebelum di debinding dengan sesudah di debinding untuk di ketahui presentase penurunan beratnya. Pengolahan data suhu dan waktu menggunakan metode taguchi dengan mengikuti prosedur-prosedur dan nilai-nilai yang diketahui.

3.7 Diagram Alir

Diagram alir penelitian ini, sebagai berikut:



Gambar 3.3 Diagram Alir Penelitian



BAB 5 PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil beberapa kesimpulan yaitu sebagai berikut:

1. Pengaruh parameter suhu terhadap berat spesimen *greenpart* produk uji tarik ASTM A370 menggunakan bahan campuran *polypropylene*, *Parafin wax*, *stearic k acid* dan *alumunium* dipengaruhi oleh suhu 95,25 %, dan waktu sebesar 2,84%.
2. Setting parameter optimum spesimen *greenpart* produk uji tarik ASTM A370 menggunakan bahan campuran *polypropylene*, *Parafin wax*, *stearick acid* dan *alumunium* terhadap presentasi penurunan berat berada pada level 3 dengan suhu 60°C, dan waktu pada level 3 yaitu 3 jam.

5.2 Saran

Saran yang bisa saya berikan setelah melakukan penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Parameter yang digunakan untuk penelitian selanjutnya diharapkan menggunakan jenis campuran berbeda dan terbaru agar memberikan inovasi baru.
2. Metode yang digunakan untuk penelitian selanjutnya diharapkan menggunakan metode lain seperti *response surface* dan lain sebagainya sehingga hasil yang di peroleh dapat dibandingkan presentasinya.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdoos, H., H. Khorsand A. A. (2014) *Torque rheometry and rheological analysis of powder-polymer mixture for aluminum powder injection molding Yousefi*. Iran Polymer and Petrochemical Institute (IPPI).
- Ani, Sarizal M.D, Andanastuti Muchtar, Norhamidi Muhamad, Jaharah A. Ghani (2013) *Binder removal via a two-stage debinding process for ceramic injection molding parts*. Department of Mechanical and Materials Engineering, Faculty of Engineering and Built Environment, Ceramics International 40 (2014) 2819–2824.
- Bhattacharya, G. K., dan R.A. Jonson. 1997. *Statistical concept and Methods*. New York: Wiley and Sons.
- Diana, Ari Susanti., Dwi Ardiana, Gita Gumelar P., Yosephin Bening G. 2012. Polaritas pelarut sebagai pertimbangan dalam pemilihan pelarut untuk ekstraksi minyak bekatul dari bekatul varietas ketan (oriza sativa glatinosa)
- Enneti, R. K., Onbattuvelli and S.V. Atre. (2012) *Powder binder formulation and compound manufacture in metal injection molding (MIM)*. Global Tungsten and Powders, USA and V.P. Handbook of metal injection molding.
- German, R M. (2011) *Metal Injection Molding A Comprehensive MIM Design Guide*. New Jersey: Metal Powder Industries Federation.
- Ghanbari, A., Masoud Alizadeh, Ebrahim Ghasemi, Rahim Yazdani Rad and Somaye Ghaffari. 2014. *Preparation of optimal feedstock for low-pressure injection molding of Al/SiC nanocomposite*.
- Hartono, M. (2001). Quality by Design Dengan Metode Taguchi, Konsep dan Perkembangannya. Optimumm. Vol.2 No.1, pp. 95-107.
- Haruna, M. R., Norhamidi Muhamada, Abu Bakar Sulonga, Nor Hafiez Mohamad Nora, Khairur Rijal Jamaludind, Mohd Halimirwan Ibrahime (2012) *Solvent Debinding Process for ZK60 Magnesium Alloy Mim Compact*. Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering) 59 Suppl 2, 159–168.
- Heaney, D.F. 2012. Designing For Metal Injection Moulding (MIM) 30.

- Knappich, F., Ferdinand Hartl, Martin Schlummer and Andreas Mäurer. 2017. *Complete Recycling of Composite Material Comprising Polybutylene Terephthalate and Copper*.
- Lestari, D. Y. 2010. *Kajian Modifikasi Zeolit Alam Dari Berbagai Negara. Prosiding Seminar Nasional Kimia dan Pendidikan*. ISBN: 978.
- Muhammad, J.bin Suleiman Ahmad, Nurhaslina binti Johari Mohamad Zmirruddin bin Ahmad, Rosdi bin Ibrahim abd. Rahim bin Abu Talib, and Mohammad Yazdi bin Harmin (2016) *Solvent Debinding of Inconel 718 Fabricated via Metal Injection Molding*. Advanced Materials Research Centre (AMREC) Vol. 1133 pp 275-279.
- Nor, N.H. Mohamad, N Muhamad. (2013) *Sintering Parameter Optimization of Ti-6Al-4V Metal Injection Molding for Highest Strength Using Palm Stearing Binder*. Procedia Engineering, Vol. 68, pp. 359-364.
- Nor, N.H.M., N Muhammad. (2011). *Optimization of Injection Molding Parameter of Ti-6Al-4V Powder Mix With Palm Stearin and Polythylene for The Highest Green Strength by Using Taguchi Method*. International Journal of Mechanical and Materials Engineering (IJMEE), Vol 6, pp. 126-132.
- Oktaviandi, S. D. 2012. *Analisa Pengaruh Parameter Tekanan dan Waktu Penekanan Terhadap Sifat Fisik Mekanik dan Cacat Penyusutan dari Produk*.
- Omar, Mohd Afian. 2001. "The Influence of Stearic Acid on the Properties of Injection Moulding of Stainless Steel Powder." *Journal of Technology* Vol. 10: 37-45.
- Park, S. H. 1996. *Robust Desain and Analysis For Quality Engineering*. London: Chapman and Hall.
- Ross, P. J. 1996. *Taguchi Techniques For Quality Engineering*. New York: Mc Graw-Hill.
- Seerane, Mandy., Hilda Chikwandaa, Walter Fockeb, Ronald Machakaa 2014. *A study of solvent debinding variables on Ti6Al4V green bodies*.
- Soejanto, I. 2009. *Desain Eksperimental Dengan Metode Taguchi*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Sonawan, Hery dan Suratman, Rochim 2003 *Pengantar Untuk Memahami Proses Pengelasan Logam*. ALFABETA Bandung.

Sunaryo, F. H., 2015. Perancangan *Mold Base* YO-YO Tipe 1A Pada PT. Yogyakarta Presisi Teknik Tama Industri. Skripsi Yogyakarta: Universitas Atma Jaya.

Susanti, A. Diana, Dwi Ardiana, Gita Gumelar P. 2 Yosephin Bening G. polaritas pelarut sebagai pertimbangan dalam pemilihan pelarut untuk ekstraksi minyak bekatul dari bekatul varietas ketan (*oriza sativa glatinosa*) 2012.

Zlatkov, B. S, E. Griesmayer¹, H. Loibl, O.S Aleksić, H. Danninger, C. Gierl, L.S.Lukić 2008. *Recent Advances in PIM Technology I*. Science of Sintering 40 79-88.



LAMPIRAN

6.1 Lampiran table data minitab

↓	C1	C2	C3	C4 <input checked="" type="checkbox"/>	C5	C6	C7	C8
	suhu	waktu	PPB %	SNRA1	MEAN1	FITS	RESI	ACF1
1	40	1	12.47	21.9173	12.47	22.0142	-0.096891	0.685528
2	40	2	12.73	22.0966	12.73	22.2974	-0.200801	0.305621
3	40	3	14.19	23.0396	14.19	22.7420	0.297692	-0.006446
4	50	1	17.01	24.6141	17.01	24.5578	0.056272	-0.146084
5	50	2	17.78	24.9986	17.78	24.8410	0.157672	-0.295627
6	50	3	17.93	25.0716	17.93	25.2856	-0.213944	-0.443196
7	60	1	19.74	25.9069	19.74	25.8663	0.040618	-0.383530
8	60	2	20.40	26.1926	20.40	26.1495	0.043129	-0.216266
9	60	3	21.16	26.5103	21.16	26.5941	-0.083748	

Gambar 1. Data penyajian table minitab

6.2 Analisa Anova

General Linear Model: SNRA1 versus suhu, waktu

Method

Factor coding (-1, 0, +1)

Factor Information

Factor	Type	Levels	Values
suhu	Fixed	3	40, 50, 60
waktu	Fixed	3	1, 2, 3

Gambar 2. Informasi tiap parameter

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
suhu	2	23.0208	11.5104	206.79	0.000
waktu	2	0.8074	0.4037	7.25	0.047
Error	4	0.2227	0.0557		
Total	8	24.0509			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.235930	99.07%	98.15%	95.31%

Gambar 3. Analisis varian dari S/N rasio

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	24.4831	0.0786	311.32	0.000	
suhu					
40	-2.132	0.111	-19.17	0.000	1.33
50	0.412	0.111	3.70	0.021	1.33
waktu					
1	-0.337	0.111	-3.03	0.039	1.33
2	-0.054	0.111	-0.48	0.654	1.33

Regression Equation

$$\text{SNRA1} = 24.4831 - 2.132 \text{ suhu}_{40} + 0.412 \text{ suhu}_{50} + 1.720 \text{ suhu}_{60} - 0.337 \text{ waktu}_{1} - 0.054 \text{ waktu}_{2} + 0.391 \text{ waktu}_{3}$$

Gambar 4. Koefisien tiap parameter

Autocorrelation Function: SNRA1

Autocorrelations

Lag	ACF	T	LBQ
1	0.685528	2.06	5.82
2	0.305621	0.66	7.14
3	-0.006446	-0.01	7.14
4	-0.146084	-0.30	7.56
5	-0.295627	-0.60	9.72
6	-0.443196	-0.87	16.20
7	-0.383530	-0.70	23.49
8	-0.216266	-0.37	28.12

Autocorrelation for SNRA1

Gambar 5. Nilai ACF

Response Table for Signal to Noise Ratios

Larger is better

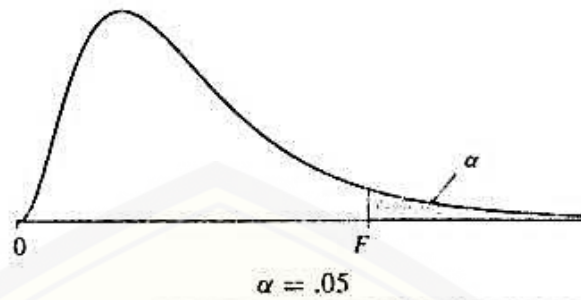
Level	suhu	waktu
1	22.35	24.15
2	24.89	24.43
3	26.20	24.87
Delta	3.85	0.73
Rank	1	2

Response Table for Means

Level	suhu	waktu
1	13.13	16.41
2	17.57	16.97
3	20.43	17.76
Delta	7.30	1.35
Rank	1	2

Gambar 6. Rata-rata data pada table

6.3 Tabel uji statistik $\alpha = 0.05$



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	1.00

6.5 Bahan yang digunakan



Gambar 7. Plastik Polypropylene



Gambar 8. Al Powder



Gambar 9. N-Hexane



Gambar 10. Stearic Acid



Gambar 11. Parafin wax

6.6 Pembuatan *Fedstock*



Gambar 12. pencampuran bahan



Gambar 13. *Feedstock Aluminium, stearic acid, paraffin wax dan Polypropylene*

6.7 Foto saat penelitian



Gambar 14. Proses Pencetakan *Greenpart* menggunakan mesin pneumatic injeksi molding



Gambar 15. hasil cetakan spesimen ASTM A370



Gambar 16. Proses solvent debinding

6.8 Pengambilan data berat spesimen



Gambar 17. Spesimen sebelum di debinding



Gambar 18. Spesimen hasil debinding