



**PENGARUH VARIASI *TEMPERATURE* DAN *HOLDING TIME*
PADA PROSES *METAL INJECTION MOLDING* A/PP TERHADAP
*CACAT SHRINKAGE***

SKRIPSI

Oleh

Rizky Bagus Anggara

NIM 141910101011

PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2019



**PENGARUH VARIASI *TEMPERATURE* DAN *HOLDING TIME*
PADA PROSES *METAL INJECTION MOLDING* A/PP TERHADAP
CACAT *SHRINKAGE***

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

Rizky Bagus Anggara

NIM 14191010111

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:

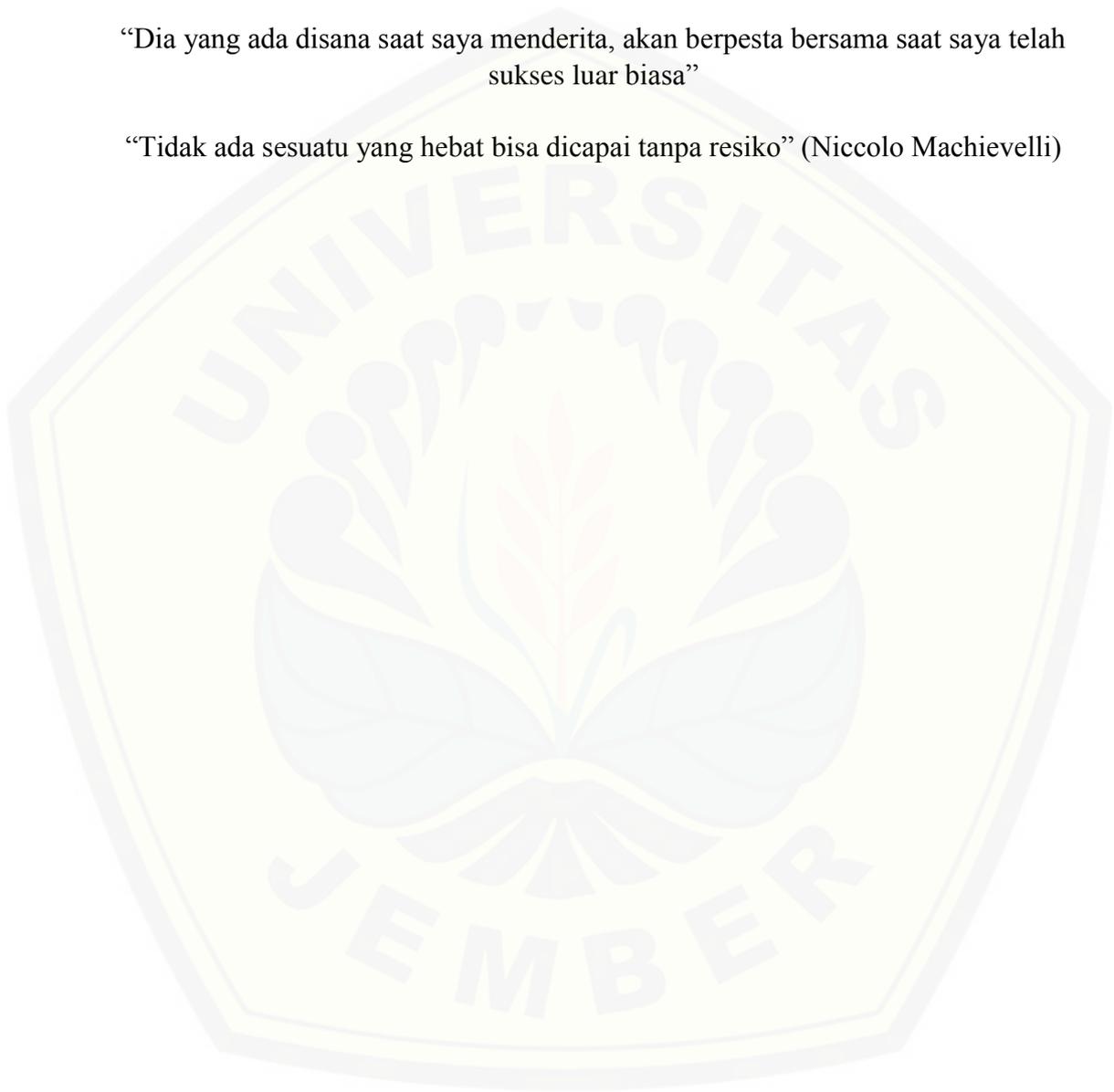
1. Ayahanda Suwanto dan Ibunda Sutami yang senantiasa memberikan semangat, dorongan, kasih sayang dan pengorbanan yang tidak kenal lelah, dan doa yang tiada hentinya tucurahkan dengan sepenuh hati;
2. Semua dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang senantiasa menularkan ilmunya, semoga ilmu yang bermanfaat dan barokah dikemudian hari. Danang Yudistiro, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama, Ir. Dwi Djumhariyanto, M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang selalu memberikan saran dan arahan yang sangat membantu dalam menyelesaikan skripsi ini. Rika Dwi Hidayatul Qoryah, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji Utama dan Mahros Darsin, S.T., M.Sc., Ph.D. 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 Moch. Ryan Rizky Permana, 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.

MOTTO

“Ketika kamu lelah dan kecewa, maka saat itu kamu sedang belajar tentang kesungguhan” (Dahlan Iskan)

“Dia yang ada disana saat saya menderita, akan berpesta bersama saat saya telah sukses luar biasa”

“Tidak ada sesuatu yang hebat bisa dicapai tanpa resiko” (Niccolo Machievelli)



PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Rizky Bagus Anggara

NIM : 141910101011

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “PENGARUH VARIASI *TEMPERATURE* DAN *HOLDING TIME* PADA PROSES *METAL INJECTION MOLDING* Al/PP TERHADAP CACAT *SHRINKAGE*” 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, 24 Juli 2019
Yang Menyatakan,

Rizky Bagus Anggara
NIM 141910101011

SKRIPSI

**PENGARUH VARIASI *TEMPERATURE* DAN *HOLDING TIME*
PADA PROSES *METAL INJECTION MOLDING* A/PP TERHADAP
CACAT *SHRINKAGE***

Oleh

Rizky Bagus Anggara

NIM 141910101011

Pembimbing

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

Dosen Pembimbing Anggota : Ir. Dwi Djumhariyanto, M.T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul ”Pengaruh Variasi *Temperature* dan *Holding Time* Pada Proses *Metal Injection Molding* Al/PP Terhadap Cacat *Shrinkage*” karya Rizky Bagus Anggara telah diuji dan disahkan pada:

Hari, tanggal : Rabu, 24 Juli 2019

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji

Dosen Pembimbing Utama,

Dosen Pembimbing Anggota,

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

Ir. Dwi Djumhariyanto, M.T.
NIP 19600812 199802 1 001

Penguji I,

Penguji II,

Rika Dwi Hidayatul Qoryah, S.T., M.T.
NIP 760014642

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

Mengesahkan
Dekan,

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

RINGKASAN

PENGARUH VARIASI *TEMPERATURE* DAN *HOLDING TIME* PADA PROSES *METAL INJECTION MOLDING* A/PP TERHADAP CACAT *SHRINKAGE*

Rizky Bagus Anggara, 141910101011; 2019; 76 halaman; Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember.

Injection molding adalah proses pembentukan plastik menjadi sebuah produk dengan cara melelehkan material plastik kemudian diinjeksikan ke dalam cetakan (*mold*). Pada proses *injection molding*, produk yang dihasilkan sesuai dengan desain cetakan (*mold*). Produk hasil proses *injection molding* yang bisa ditemui dalam kehidupan sehari-hari contohnya *body* motor, *casing* handphone, peralatan rumah tangga, *dashbord* mobil dan lain-lain. Kelebihan dari proses *injection molding* yaitu tidak memiliki batasan kerumitan pada desain produk sehingga dapat menghasilkan variasi produk yang luas dengan tingkat toleransi kepresisian yang sangat baik dengan ukuran produk yang dicetak mulai dari yang ukuran kecil hingga yang ukuran besar.

Metal Injection Molding (MIM) adalah suatu pengembangan dari proses *injection molding* dan metalurgi serbuk yang merupakan proses manufaktur untuk menghasilkan sebuah produk dengan dimensi yang baik, biaya produksi rendah dan pengerjaan akhir (*finishing*) yang minimal. Proses ini dapat diaplikasikan pada material logam maupun keramik seperti aluminium, baja tahan karat, titanium, karbida, dan lain-lain. Pembuatan komponen menggunakan proses MIM dapat mengurangi secara signifikan biaya manufaktur, peningkatan fleksibilitas desain dan material, permukaan akhir yang baik, jumlah produksi yang tinggi, dan memiliki sifat mekanis yang tinggi. Produk yang dibuat dengan proses MIM memiliki kekuatan mekanis yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan produk *die casting* serta memiliki toleransi dan permukaan akhir yang lebih baik bila dibandingkan proses *investment casting* atau *sand casting*.

Penelitian bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi parameter proses, yaitu *temperature* dan *holding time* terhadap persentase cacat *shrinkage* dan mengetahui variasi parameter optimum pada proses *metal injection molding*. Bahan yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari 60% *Polypropylene*, 30% Serbuk Aluminium dan 10% *Polyoxymethylene*.

Hasil penelitian diperoleh bahwa *temperature* memberikan pengaruh paling besar terhadap nilai respon persentase cacat *shrinkage*, kondisi ini dapat diamati seiring kenaikan level *temperature* maka nilai persentase cacat *shrinkage* semakin naik. Hal tersebut juga dibuktikan oleh perhitungan persen kontribusi *temperature* yang menunjukkan nilai 82,53%.

Perhitungan persen kontribusi dari parameter *holding time* didapatkan nilai sebesar 9,53% hal tersebut menunjukkan bahwa parameter *holding time* tidak berpengaruh secara signifikan terhadap nilai dari persentase cacat *shrinkage*. Karena pada pengujian nilai distribusi F, nilai F_{hitung} dari *holding time* lebih rendah dari F_{tabel} dengan selisih 0,96.

Variasi optimum proses *metal injection molding* terhadap persentase cacat *shrinkage* berada pada level 1 dengan *temperature* 180°C, dan *holding time* pada level 1 yaitu 12 detik.

SUMMARY

THE EFFECT OF TEMPERATURE AND HOLDING TIME VARIATIONS ON METAL INJECTION MOLDING AL / PP PROCESSES ON SHRINKAGE DEFFECT

Rizky Bagus Anggara, 141910101011; 2019; 76 pages; Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Jember University.

Injection molding is the process of forming plastic into a product by melting plastic material and then injecting it into a mold. In the injection molding process, the products produced are in accordance with the mold design (mold). Products from the injection molding process that can be found in everyday life such as motorbikes, cellphone casings, household appliances, car dashboards and others. The advantage of the injection molding process is that it has no complexity constraints on product design so that it can produce a wide variety of products with excellent precision tolerance with the size of the printed products ranging from small to large sizes.

Metal Injection Molding (MIM) is a development of the process of injection molding and powder metallurgy which is a manufacturing process to produce a product with good dimensions, low production costs and minimal finishing. This process can be applied to metal and ceramic materials such as aluminum, stainless steel, titanium, carbide, and others. Making components using the MIM process can significantly reduce manufacturing costs, increase design flexibility and material, good surface finish, high production amount, and high mechanical properties. Products made with the MIM process have higher mechanical strength when compared to die casting products and have better tolerance and surface finish compared to the investment casting or sand casting process

The study aims to determine the effect of process parameter variations, namely temperature and holding time on the percentage of shrinkage defects and find out the optimum variation of parameters in the metal injection molding

process. The material used in this study consisted of 60% Polypropylene, 30% Aluminum Powder and 10% Polyoxymethylene.

The results showed that temperature has the greatest influence on the percentage response value of shrinkage defects, this condition can be observed as the temperature level increases, the percentage value of shrinkage defects increases. This is also evidenced by the calculation of the percentage contribution of temperature which shows a value of 82.53%.

The percent contribution calculation from the holding time parameter is 9.53%. This shows that the holding time parameter does not significantly influence the value of the percentage of shrinkage defects. Because in testing the distribution value F , the calculated F value of the holding time is lower than F_{table} with a difference of 0.96.

The optimum variation of the metal injection molding process on the percentage of shrinkage defects is at level 1 with a temperature of 180oC, and holding time at level 1 is 12 seconds.

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 Suwanto dan ibunda Sutami 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. Digdo Listyadi S., M.Sc. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing selama penulis menjadi mahasiswa;
4. Bapak Danang Yudistiro, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama, Bapak Ir. Dwi Djumhariyanto, M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, fikiran serta perhatiannya guna memberikan bimbingan dan arahan demi terselesaikannya skripsi ini;
5. Ibu Rika Dwi Hidayatul Qoryah, S.T., M.T. selaku dosen penguji 1 dan Bapak Mahros Darsin, S.T., M.Sc., Ph.D. 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 mendukung selama penyusunan penelitian ini;
9. Zela Octaviana dan Siti Robiatul Adawiyah yang telah sabar menemani dan memberikan semangat hingga 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, 24 Juli 2019

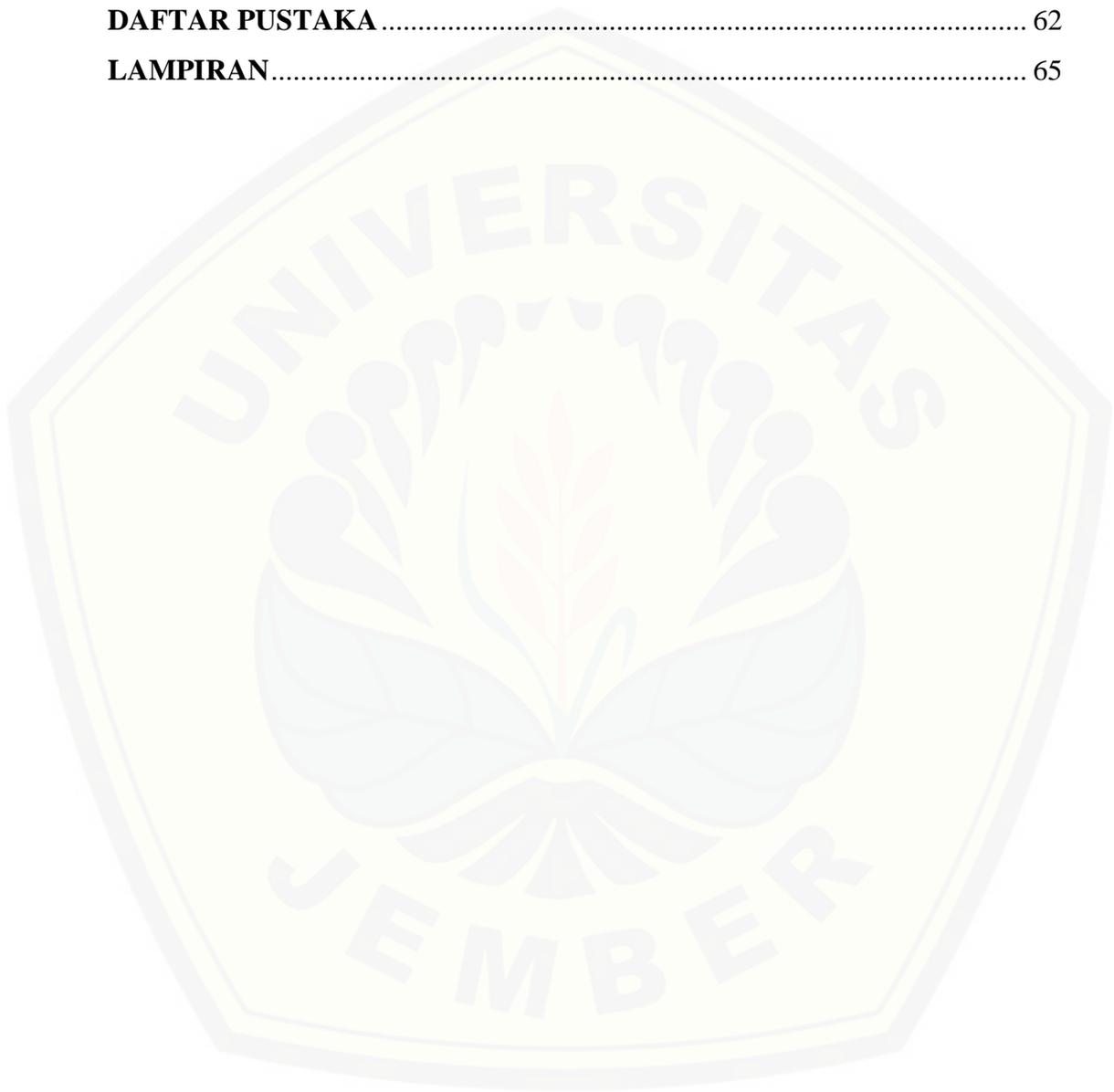
Penulis

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
PRAKATA	xii
DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xviii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Hipotesa	5
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Pengertian Plastik	6
2.1.1 Karakteristik Plastik.....	7
2.2 Polimer <i>Polypropylene</i>	8
2.3 Serbuk Aluminium	13
2.4 <i>Injection Molding</i>	14
2.4.1 Parameter <i>Injection Molding</i>	18
2.4.2 Langkah-langkah Proses <i>Injection Molding</i>	19
2.5 Pengertian Komposit	21

2.6 Cacat <i>Shrinkage</i>	22
2.7 Metode Taguchi.....	24
2.7.1 Rancangan Percobaan Taguchi	25
2.7.2 Optimasi Taguchi.....	32
2.7.3 Interval Kepercayaan	33
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	34
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	34
3.2 Alat dan Bahan	34
3.2.1 Alat.....	34
3.2.2 Bahan	36
3.3 Variabel Penelitian	36
3.3.1 Variabel Bebas	36
3.3.2 Variabel Respon.....	36
3.3.3 Variabel Konstan	36
3.4 Rancangan Percobaan	37
3.4.1 Pengaturan Variabel.....	37
3.4.2 Pemilihan Matriks Ortogonal.....	37
3.4.3 Analisis Variansi dan Persen Kontribusi	39
3.5 Langkah-langkah Percobaan	40
3.6 Pengambilan Data	41
3.7 Karakteristik Respon Optimum	42
3.8 Jadwal Kegiatan Penelitian	42
3.9 Diagram Alir	43
BAB 4. PEMBAHASAN	45
4.1 Fenomena Cacat <i>Shrinkage</i>	45
4.2 Data Hasil Percobaan	45
4.3 Perhitungan S/N Rasio	48
4.4 Pengujian Asumsi Residual	49
4.5 Analisis of Varian (ANOVA)	51
4.6 Hasil Optimasi	55
4.7 Prediksi Respon Optimum	56

4.8 Pembahasan Pengaruh Parameter.....	58
BAB 5. PENUTUP.....	60
5.1 Kesimpulan.....	60
5.2 Saran.....	60
DAFTAR PUSTAKA.....	62
LAMPIRAN.....	65



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Struktur Kimia <i>Thermoplast</i>	7
Gambar 2.2 Struktur Kimia <i>Thermoset</i>	8
Gambar 2.3 Reaksi Polimerisasi <i>Polypropylene</i>	9
Gambar 2.4 Karung Plastik Berbahan <i>Polypropylene Homopolymer</i>	11
Gambar 2.5 Tutup Fliptop Berbahan <i>Polypropylene Random Copolymer</i>	12
Gambar 2.6 <i>Dashboard</i> Mobil Berbahan <i>Polypropylene Impact Copolymer</i>	13
Gambar 2.7 Serbuk Aluminium	13
Gambar 2.8 Mesin <i>Injection Molding</i> Tipe Pneumatik.....	14
Gambar 2.9 <i>Turbin Disk</i> Contoh Produk Hasil MIM	15
Gambar 2.10 <i>Burner Cover</i> Contoh Produk Hasil MIM	16
Gambar 2.11 <i>Injection Unit</i>	16
Gambar 2.12 <i>Clamping Unit</i>	17
Gambar 2.13 <i>Mold Unit</i>	17
Gambar 2.14 Cacat <i>Shrinkage</i>	22
Gambar 2.15 Matriks Ortogonal	27
Gambar 3.1 Mesin <i>Injection Molding</i>	34
Gambar 3.2 Dimensi ASTM A370	35
Gambar 3.3 Diagram Alir Penelitian	43
Gambar 3.4 Diagram Alir Metode Penelitian	44
Gambar 4.1 Hasil Pencetakan Spesimen ASTM A370.....	45
Gambar 4.2 Plot ACF.....	50
Gambar 4.3 Plot Uji Homogen.....	50
Gambar 4.4 Plot Uji Distribusi Normal	51
Gambar 4.5 Plot Rata-rata S/N Rasio	55
Gambar 4.6 Plot <i>for Means</i>	56

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Temperatur Leleh <i>Thermoplast</i>	9
Tabel 2.2 Berat Jenis Pada <i>Thermoplast</i>	10
Tabel 2.3 Sifat-sifat Polimer <i>Polypropylene</i>	11
Tabel 2.4 Persentase <i>Shrinkage</i> Pada Plastik	22
Tabel 2.5 Matriks Ortogonal $L_9(3^2)$	28
Tabel 2.6 Analisis Variansi Dua Arah Tanpa Interaksi	31
Tabel 3.1 Variabel-variabel Proses yang Digunakan	37
Tabel 3.2 Total Derajat Kebebasan Parameter Kendali	37
Tabel 3.3 Matriks Ortogonal $L_9(3^2)$	38
Tabel 3.4 Pengolahan Data Uji Coba	38
Tabel 3.5 Analisis Variansi (ANOVA)	39
Tabel 3.6 Hasil ANOVA	40
Tabel 3.7 Jadwal Pelaksanaan Kegiatan	42
Tabel 4.1 Spesifikasi Bahan Penelitian	46
Tabel 4.2 Hasil Pengambilan Data Bobot Produk	46
Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Volume Produk	47
Tabel 4.4 Data Hasil Perhitungan Cacat <i>Shrinkage</i>	48
Tabel 4.5 Perhitungan S/N Rasio <i>Shrinkage</i>	49
Tabel 4.8 Hasil ANOVA dengan S/N Rasio	52
Tabel 4.9 Kondisi Hipotesa Nol Multi Respon	54
Tabel 4.10 Persentase Kontribusi Parameter	54
Tabel 4.6 Rata-rata Nilai <i>Shrinkage</i> Setiap Level Parameter	55
Tabel 4.7 Kombinasi Parameter Respon Optimum.....	56

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Plastik merupakan polimer yang sering dimanfaatkan pada kehidupan sehari-hari karena memiliki sifat yang ringan, tahan terhadap korosi, mudah dibentuk, dapat didaur ulang dan memiliki temperatur leleh yang rendah. Hal ini berbeda jika dibandingkan dengan material logam yang tidak tahan terhadap korosi dan cenderung sifatnya yang berat. Kebutuhan akan bahan baku plastik disebabkan karena material ini lebih efisien serta makin berkembangnya kemajuan teknologi dalam bidang manufaktur maupun dalam bidang rekayasa material (Firdaus, 2002). Plastik yang dipadukan dengan unsur *metal* merupakan salah satu contoh perkembangan teknologi antara bidang manufaktur dan rekayasa material. Aluminium merupakan suatu logam ringan yang sering digunakan sebagai bahan campuran karena memiliki ketahanan terhadap korosi yang baik dan hantaran listrik yang baik. Sifat aluminium yang terpenting yaitu mempunyai kepadatan yang rendah, konduktivitas termal dan listrik yang sangat baik serta mempunyai kekuatan dan keuletan yang cukup baik pula (Oxtoby, et al. 2003).

Injection molding adalah proses pembentukan plastik menjadi sebuah produk dengan cara melelehkan material plastik kemudian diinjeksikan ke dalam cetakan (*mold*). Pada proses *injection molding*, produk yang dihasilkan sesuai dengan desain cetakan (*mold*). Produk hasil proses *injection molding* yang bisa ditemui dalam kehidupan sehari-hari contohnya *body motor*, *casing handphone*, peralatan rumah tangga, *dashbord mobil* dan lain-lain (Fathoni, 2015). Menurut Mawardi dkk (2015), kelebihan dari proses *injection molding* yaitu tidak memiliki batasan kerumitan pada desain produk sehingga dapat menghasilkan variasi produk yang luas dengan tingkat toleransi kepresisian yang sangat baik dengan ukuran produk yang dicetak mulai dari yang ukuran kecil hingga yang ukuran besar. *Metal Injection Molding (MIM)* adalah suatu pengembangan dari proses *injection molding* dan metalurgi serbuk yang merupakan proses manufaktur untuk menghasilkan sebuah produk dengan dimensi yang baik, biaya produksi rendah dan pengerjaan akhir (*finishing*) yang minimal. Proses ini dapat diaplikasikan

pada material logam maupun keramik seperti aluminium, baja tahan karat, titanium, karbida, dan lain-lain. Pembuatan komponen menggunakan proses MIM dapat mengurangi secara signifikan biaya manufaktur, peningkatan fleksibilitas desain dan material, permukaan akhir yang baik, jumlah produksi yang tinggi, dan memiliki sifat mekanis yang tinggi. Produk yang dibuat dengan proses MIM memiliki kekuatan mekanis yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan produk *die casting* serta memiliki toleransi dan permukaan akhir yang lebih baik bila dibandingkan proses *investment casting* atau *sand casting* (Viridhian, 2014).

Teknologi *injection molding* pada saat ini sudah semakin maju, berbagai bentuk produk dapat dibuat dengan baik dengan berbagai ukuran. Namun dibalik itu semua ternyata terdapat masalah yang sangat rumit berkaitan dengan pembuatan cetakan (*mold*) dan hasil produk yang diinginkan. Beberapa penelitian telah dilakukan dan pada umumnya membahas tentang cacat penyusutan (*shrinkage*). Pada proses *injection molding* pembuatan produk dilakukan variasi beberapa parameter yang ada. Parameter proses meliputi: temperatur leleh (*melting point*), tekanan udara (*air pressure*), waktu penahanan (*holding time*), waktu penekanan (*pressure duration*) dan waktu pendinginan (*cooling time*). Pemilihan parameter yang tepat akan sangat berpengaruh terhadap hasil benda cetak yang diinginkan, sehingga perlu dicari parameter terbaik untuk setiap benda cetak berdasarkan jenis bahan baku plastik yang ada. Selain itu, parameter temperatur leleh sangat signifikan pengaruhnya terhadap cacat *shrinkage* (Mawardi dkk, 2015).

Pada penelitian yang dilakukan oleh Kristanto dkk (2013), dengan melakukan variasi *temperature* 230°C, 240°C, 250°C, dan 260°C dengan variasi *holding time* 20 detik, 25 detik, dan 30 detik dengan material plastik *polypropylene* didapatkan hasil yaitu cacat *shrinkage* terkecil dihasilkan pada *temperature* 230°C dengan *holding time* 20 detik sebesar 0,499 mm. Hal ini dikarenakan apabila *temperature* pemanas dinaikkan maka material plastik akan mengalami fase dekomposisi (kerusakan struktur) yang mengakibatkan produk mengalami perubahan bentuk. Sifat fisik yang dapat dilihat yaitu hasil injeksi biasanya akan berwarna kehitaman. Sedangkan dengan menaikkan *holding time* di atas 20 detik, cairan

plastik akan mengalami pembalikan aliran cairan sehingga cacat *shrinkage* akan semakin besar.

Pada penelitian yang dilakukan Firdaus (2002), dengan melakukan variasi temperature 185°C, 210°C, 220°C, dan 225°C dengan variasi *holding time* 20 detik, 25 detik, 30 detik dan 35 detik didapatkan hasil yaitu cacat *shrinkage* terkecil dihasilkan pada temperatur 185°C dengan *holding time* 20 detik sebesar 2,2%. Hal ini dikarenakan apabila *temperature* pemanas dinaikkan maka akan mengakibatkan perbedaan antara *temperature* cetakan dan cairan plastik semakin membesar sehingga persentase cacat *shrinkage* akan meningkat. Sedangkan dengan menaikkan *holding time* akan mengakibatkan energi panas yang diserap plastik akan meningkat sehingga memungkinkan ketidakseragaman *temperature* pada material plastik sehingga cacat *shrinkage* akan mengalami peningkatan.

Berdasarkan pada penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, penulis mengangkat judul penelitian dengan variasi antara *temperature* dan *holding time* pada bahan campuran plastik *polypropylene* dan serbuk aluminium dengan *polyoxymethylene* sebagai binder. Hal ini bertujuan untuk mengurangi persentase cacat *shrinkage* sehingga produk yang dihasilkan memiliki efisiensi pengerjaan yang optimal dan tetap sesuai dengan standar produksi yang telah ditentukan. Penelitian yang diangkat penulis memiliki judul yaitu "Pengaruh Variasi *Temperature* dan *Holding Time* Pada Proses *Metal Injection Molding* Al/PP Terhadap Cacat *Shrinkage*" dengan menggunakan metode *taguchi* sehingga hasil dari penelitian ini dapat digunakan sebagai kajian dalam mengurangi cacat *shrinkage* pada mesin *injection molding*.

1.2 Rumusan Masalah

Penelitian ini akan melakukan analisa pembuatan spesimen uji tarik dengan standar ASTM A370 pada proses *injection molding*. Adapun perumusannya sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh variasi *temperature* terhadap cacat *shrinkage* pada proses *injection molding* ?

2. Bagaimana pengaruh variasi *holding time* terhadap cacat *shrinkage* pada proses *injection molding* ?
3. Bagaimana mengetahui parameter optimum untuk mengurangi cacat *shrinkage* pada proses *injection molding*.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Proses *mixing* plastik 65%, serbuk aluminium 30%, dan binder 5% dianggap homogen;
2. Mesin *injection molding* yang digunakan telah terkalibrasi pada saat pengambilan data;
3. Tidak membahas proses perpindahan panas yang terjadi pada proses *injection molding*;
4. Tidak membahas tentang proses debinding dan sintering;
5. Tidak membahas tentang persentase penyusutan pada setiap sumbu;
6. Tekanan injeksi yang digunakan 8 bar;
7. Menggunakan mesin *injection molding* tipe pneumatik.

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian dilakukan dengan tujuan sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh variasi *temperature* terhadap cacat *shrinkage* pada proses *injection molding*;
2. Mengetahui pengaruh variasi *holding time* terhadap cacat *shrinkage* pada proses *injection molding*;
3. Mengetahui parameter optimum yang sesuai untuk mengurangi cacat *shrinkage*.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Dapat menentukan *temperature* optimum yang sesuai untuk mengurangi cacat *shrinkage*;

2. Dapat menentukan *holding time* optimum yang sesuai untuk mengurangi cacat *shrinkage*;
3. Penelitian ini dapat digunakan sebagai bahan acuan untuk penelitian selanjutnya.

1.6. Hipotesa

Berdasarkan pengamatan yang telah dilakukan para peneliti sebelumnya dapat ditarik sebuah hipotesa awal yaitu, jika *temperature* pada *barrel* dinaikkan dan *holding time* lebih lama maka persentase cacat *shrinkage* akan meningkat. Karena perbedaan antara *temperature* cetakan dan cairan plastik akan semakin membesar sehingga energi panas yang diserap plastik akan meningkat yang menyebabkan cairan plastik mengalami fase dekomposisi (kerusakan struktur) dan cacat *shrinkage* akan mengalami peningkatan. Sebaliknya jika *temperature* pada *barrel* diturunkan hingga mencapai titik leleh dan *holding time* diturunkan maka persentase cacat *shrinkage* akan menurun.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Plastik

Polimer berasal dari bahasa Yunani yang terdiri dari dua kata yaitu *poly* (banyak) dan *meros* (bagian-bagian). Polimer merupakan sejumlah unit-unit molekul kecil membentuk senyawa yang besar. Polimer disebut juga *makromolekul* yang dibangun oleh molekul sederhana yang disebut *monomer* yang saling berikatan dalam satu rantai membentuk molekul yang besar (Vlack, 1989). Sifat-sifat yang dimiliki polimer berbeda dengan *monomer* penyusunnya. Plastik merupakan salah satu polimer yang terbentuk dari hasil polimerisasi *monomer hidrokarbon* yang membentuk rantai panjang. *Monomer* yang biasa digunakan untuk pembuatan plastik adalah *etena* (C_2H_2), *propena* (C_3H_6), *nylon*, *carbonat* (CO_3), *vinil klorida* (CH_2), dan *styrene* (C_8H_8). Secara umum polimer dibagi menjadi dua bagian yaitu plastik *thermoplast* dan plastik *thermoset*. Polimer *thermoplast* merupakan jenis plastik yang dapat didaur ulang menjadi sebuah produk dengan adanya panas sedangkan pada polimer *thermoset* merupakan jenis plastik yang tidak dapat dicetak kembali apabila mengalami kondisi tertentu karena pada bangun polimernya membentuk jaringan tiga dimensi (Mujiarto, 2005).

Plastik sering dimanfaatkan dalam kehidupan sehari-hari karena memiliki kelebihan yang tahan terhadap korosi, ringan, mudah dibentuk, memiliki temperatur leleh yang rendah, dapat didaur ulang dan lebih ekonomis karena harganya yang relatif murah. Hal ini berbeda dengan material logam yang tidak tahan terhadap korosi, cenderung sifatnya yang berat, dan memiliki harga yang relatif mahal sehingga hanya perusahaan-perusahaan tertentu yang memproduksinya menjadi suatu produk karena biaya produksinya yang mahal dan membutuhkan waktu pengerjaan yang lama. Kebutuhan akan plastik dalam kehidupan sehari-hari tak lepas karena material ini lebih efisien dan memiliki harga yang relatif murah sehingga banyak perusahaan memakai bahan baku plastik untuk membuat suatu produk, hal ini dikarenakan makin berkembangnya kemajuan teknologi dalam bidang manufaktur dan rekayasa material (Firdaus,

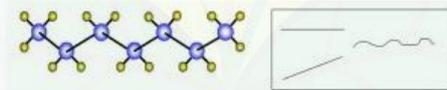
2002). Plastik merupakan bahan sintetis yang bentuknya dapat diubah serta dapat diperkeras dan dipertahankan dengan cara mencampurkan material lain secara komposit kedalamnya.

2.1.1 Karakteristik Plastik

Plastik pada umumnya memiliki karakteristik, salah satu klarifikasi plastik berdasarkan oleh ketahanan terhadap panas (*thermal*) yang dibagi menjadi dua bagian yaitu:

a. Plastik *Thermoplast*

Plastik *thermoplast* merupakan polimer yang tidak tahan terhadap temperatur panas. Jika dipanaskan plastik ini akan melunak dan apabila didinginkan akan mengeras. Plastik ini dapat didaur ulang dengan adanya panas sehingga dapat dibuat berbagai jenis bentuk sesuai dengan dimensi cetakan (*mold*) yang dapat menghasilkan produk yang baru. Jenis plastik ini tidak mempunyai ikatan silang antar rantai polimernya, namun struktur molekul *linear* memiliki ikatan silang atau bercabang. Struktur kimia pada plastik *thermoplast* dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Bentuk struktur bercabang termoplastik.



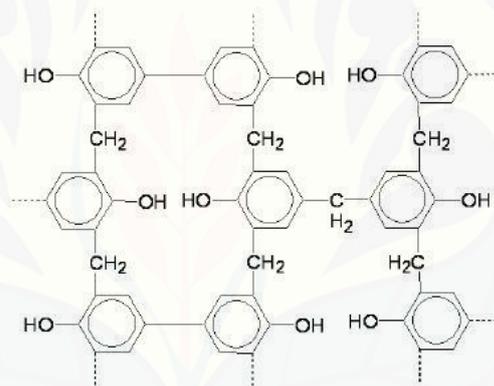
Gambar 2.1 Struktur kimia *thermoplast* (Lestari, 2010)

Plastik *thermoplast* mempunyai sifat-sifat khusus yaitu berat molekul kecil, tidak tahan terhadap panas, jika dipanaskan akan melunak, jika didinginkan akan mengeras, mudah untuk diregangkan, *fleksibel*, dapat dibentuk ulang, memiliki struktur *linear* atau bercabang, dan titik leleh rendah. Yang merupakan salah satu jenis plastik *thermoplast* antara lain *Polyethylene*, *Polypropylene*,

Polyvinyl Chloride (PVC), Polystyrene, Polyethylene Therephthalate (PET), High Density Polyethylene (HDPE), dan Low Density Polyethylene (LDPE).

b. Plastik *Thermoset*

Plastik *thermoset* merupakan polimer yang tahan terhadap temperatur panas. Jika dipanaskan maka plastik ini tidak akan meleleh karena pada plastik *thermoset* memiliki ikatan-ikatan silang yang mudah dibentuk pada saat dipanaskan dan membuat plastik ini menjadi kaku dan keras. Semakin banyak ikatan silang pada plastik *thermoset* maka akan semakin kaku dan mudah patah. Apabila dipanaskan kembali maka akan merusak ikatan rantai antar polimer sehingga jika jenis plastik ini rusak maka tidak akan bisa disambung atau diperbaiki. Struktur kimia pada plastik *thermoset* dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Struktur kimia *thermoset* (Lestari, 2010)

Plastik *thermoset* memiliki sifat-sifat khusus yaitu keras, kaku, jika dipanaskan akan mengeras, mempunyai ikatan silang rantai antar molekul, tahan terhadap asam basa, tidak dapat dibentuk ulang, dan tidak dapat larut dalam pelarut apapun. Yang merupakan salah satu jenis plastik *thermoset* antara lain *Polyester, Poly Urethane (PU), dan Epoksi.*

2.2 Polimer *Polypropylene*

***Polypropylene* merupakan salah satu polimer yang memiliki sifat kuat dan tangguh dibandingkan jenis polimer**

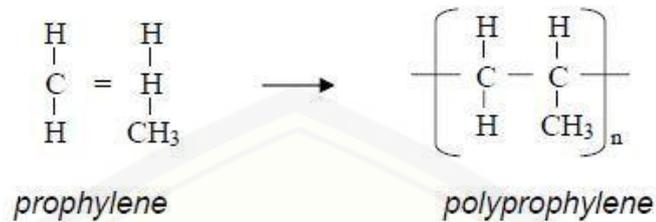
yang lainnya. Material ini memiliki ketahanan yang baik terhadap pengikisan, keretakan, kekakuan, bahan kimia dan daya serap air yang rendah namun memiliki ketahanan pukul (*impact strength*) yang rendah. *Polypropylene* mempunyai titik leleh yang tinggi yaitu pada temperatur 200°C dan titik kristalisasinya antara 130°C–135°C. Temperatur leleh pada jenis-jenis plastik *thermoplast* dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Temperatur leleh *thermoplast* (Mujiarto, 2005)

Material	°C
ABS	180-240
Acetal	185-225
Acrylic	180-250
Nylon	260-290
Polycarbonat	280-310
LDPE	160-240
HDPE	200-280
PP	200-300
PS	180-260
PVC	160-180

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 *prophylene* dengan keteraturan ruang.

Gambar reaksi polimerisasi pada plastik *polypropylene* dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Reaksi polimerasi *polypropylene* (Lestari, 2010)

Massa jenis pada polimer *polypropylene* umumnya sama dengan yang dimiliki pada polimer *polyethylene* yaitu memiliki masa 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*. Perbandingan berat jenis pada polimer *thermoplast* dapat dilihat pada Tabel 2.2 berikut ini:

Tabel 2.2 Berat Jenis Pada Polimer *Thermoplast* (Mujiarto, 2005)

Polimer	Massa Jenis
<i>Polypropylene (PP)</i>	0,85-0,90
<i>Low Density Polyethylene (LDPE)</i>	0,91-0,93
<i>High Density Polyethylene (HDPE)</i>	0,93-0,96
<i>Polystyrene (PS)</i>	1,05-1,08

<i>Akrilonitril Butadiena Stiren (ABS)</i>	0,99-1,10
<i>Polyvinyl Chloride (PVC)</i>	1,15-1,65
<i>Acetyl Cellulose</i>	1,23-1,34
<i>Nylon</i>	1,09-1,14
<i>Polycarbonate (PC)</i>	1,20
<i>Polyasetat</i>	1,38

Pada penelitian yang telah dilakukan Syamsul (1995), plastik *polypropylene* memiliki beberapa sifat-sifat yang dijelaskan pada Tabel 2.3 berikut ini:

Tabel 2.3 Sifat-sifat polimer *polypropylene* (Syamsul, 1995)

Sifat-sifat	<i>Polypropylene</i>
Kristalisasi	60%
Masa jenis [10^3 kg.m^{-3}]	0,90
Tg [$^{\circ}\text{C}$]	10
Tm [$^{\circ}\text{C}$]	176
Tegangan Tarik [N.mm^{-2}]	30-40

Modulus Tarik [N.mm⁻²]	1,1-1,6
Perpanjangan [%]	50-600

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Ali (2013), plastik *polypropylene* dibagi menjadi tiga macam berdasarkan proses pembuatannya, yaitu :

a. *Polypropylene Homopolymer*

Polypropylene Homopolymer merupakan salah satu *polypropylene* yang mengalami polimerisasi monomer *propylene*. *Polypropylene* jenis ini memiliki karakteristik kekakuan yang cukup tinggi dan kemengkilapan yang baik serta sifat fisiknya yang agak buram. Salah satu produk hasil dari *polypropylene homopolymer* yaitu kemasan makan, peralatan rumah tangga, karung plastik, dan lain-lain. Contoh produk pada plastik *polypropylene homopolymer* dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Karung plastik berbahan *polypropylene homopolymer* (Ali, 2013)

b. *Polypropylene Random Copolymer*

Polypropylene Random Copolymer merupakan salah satu *polypropylene* yang mengalami polimerisasi monomer *propylene* dengan ditambahkan *comonomer ethylene*. *Polypropylene* jenis ini memiliki karakteristik kebeningan dan keuletan yang sangat baik. Salah satu produk berbahan *polypropylene random copolymer* yaitu peralatan yang bening contohnya tutup botol jenis *fliptop* yang dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Tutup botol fliptop berbahan *polypropylene random copolymer* (Ali, 2013)

c. *Polypropylene Impact Copolymer*

Polypropylene Impact Copolymer merupakan salah satu jenis *polypropylene* yang memiliki karakteristik tahan terhadap temperatur rendah yaitu mencapai -30°C dengan ciri-ciri memiliki warna dasar yaitu putih susu. Salah satu produk berbahan *polypropylene impact copolymer* yaitu pallet dan perlengkapan otomotif yang dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 *Dashboard* mobil berbahan *polypropylene impact copolymer* (Ali, 2013)

2.3 Serbuk Aluminium

Serbuk Aluminium merupakan material logam yang memiliki kekuatan yang relatif rendah dan lunak jika dibandingkan dengan material logam yang lainnya. Aluminium adalah logam yang relatif ringan dan mempunyai ketahanan terhadap korosi yang baik, serta memiliki sifat hantaran listrik yang baik dan lain sebagainya. Pada umumnya aluminium dicampur dengan logam lain sehingga membentuk aluminium paduan. Aluminium juga biasanya dicampurkan pada polimer untuk dijadikan sebuah komposit, hal ini dilakukan karena aluminium dijadikan sebagai penguat pada produk yang dihasilkan. Material ini dimanfaatkan bukan hanya untuk peralatan rumah tangga, namun juga dipakai untuk keperluan industri, konstruksi dan sebagainya. Serbuk aluminium dapat dilihat pada Gambar 2.7.



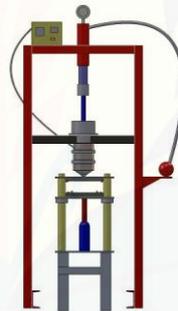
Gambar 2.7 Serbuk aluminium (Sonawan, 2003)

Aluminium memiliki sifat-sifat yaitu sangat tangguh pada temperatur yang cukup rendah, konduktifitas *thermal* aluminium sekitar lima kali lebih baik dibandingkan dengan baja karbon rendah, kekuatan tegangan sebesar 49 Mpa sampai dengan 700 Mpa setelah di bentuk menjadi *alloy*, temperatur leleh untuk aluminium murni yaitu 600°C dan memiliki masaa jenis 2.79 g/cm³. Aluminium mempunyai sifat yang konduktivitas sekitar 60% dibanding tembaga, tahanan korosi aluminium relatif lebih baik pada kekerasan tertentu akibat lapisan tipis oksida pelindung yang menempel (Sonawan, 2003). Aluminium didapat dalam keadaan cair dengan elektrolisasi, umumnya mencapai kemurnian hingga 99,85%. pengolahan biji logam menjadi aluminium memerlukan energi yang besar. Salah

satu usaha untuk mengatasi hal ini adalah dengan melakukan daur ulang. Pada perusahaan pengecoran industri kecil kebanyakan tidak semua menggunakan bahan aluminium murni, tetapi memanfaatkan sekrap ataupun *rijek materials* dari peleburan sebelumnya. Proses pengecoran dengan menggunakan bahan baku yang sebelumnya pernah dicor dinamakan *remelting* (Simanjuntak dkk, 2013).

2.4 Injection Molding

Injection molding adalah sebuah alat yang digunakan untuk mencetak produk berbahan plastik dan plastik komposit dengan dimensi yang baik dan memiliki ketelitian yang tinggi serta biaya produksi yang relatif rendah (Liu, 2012). Pada proses *injection molding*, biji-biji plastik yang telah dilelehkan oleh *heater* lalu ditekan oleh *injector* dengan tekanan yang ditentukan mengalir menuju cetakan (Burhanuddin dkk, 2015).



Gambar 2.8 Mesin *injection molding* tipe pneumatik (Oktaviandi, 2012)

Metal Injection Molding (MIM) adalah suatu pengembangan dari proses *injection molding* dan metalurgi serbuk yang merupakan proses manufaktur untuk menghasilkan sebuah produk dengan dimensi yang baik, biaya produksi rendah dan pengerjaan akhir (*finishing*) yang minimal. Proses ini dapat diaplikasikan pada material logam maupun keramik seperti aluminium, baja tahan karat, titanium, karbida, dan lain-lain. Pembuatan komponen menggunakan proses MIM dapat mengurangi secara signifikan biaya manufaktur, peningkatan fleksibilitas desain dan material, permukaan akhir yang baik, jumlah produksi yang tinggi, dan memiliki sifat mekanis yang tinggi. Produk yang dibuat dengan proses MIM memiliki kekuatan mekanis yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan produk

die casting serta memiliki toleransi dan permukaan akhir yang lebih baik bila dibandingkan proses *investment casting* atau *sand casting* (Virdhian, 2014).

Untuk mengetahui apakah sebuah produk sesuai untuk dibuat dengan proses MIM perlu mempertimbangkan beberapa hal yaitu jumlah produksi 5000 – 100.000.000/ tahun, kompleksitas bentuk produk 10 – 100 fitur geometri, dimensi dan berat produk 1 – 137 mm dan 0,003 – 1097 gr, serta jenis material yang digunakan dapat disintering. Salah satu produk hasil dari *metal injection molding* adalah *turbine disk* dan *burner cover* yang dapat dilihat pada Gambar 2.9 dan Gambar 2.10.



Gambar 2.9 Turbin Disk contoh produk hasil MIM (Virdhian, 2014)

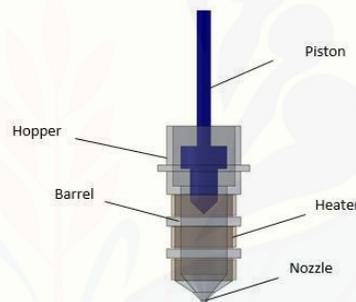


Gambar 2.10 Burner Cover contoh produk hasil MIM (Virdhian, 2014)

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Oktaviandi (2012), Secara umum mesin *injection molding* terdiri dari tiga bagian unit utama, yaitu:

- a. *Injection Unit*

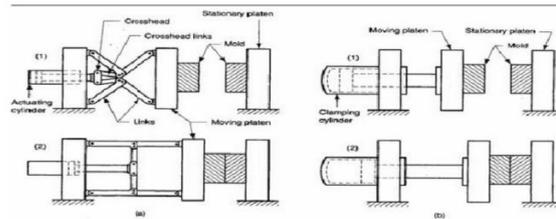
Injection unit merupakan bagian yang berfungsi untuk tempat pengolahan biji plastik. Biji plastik dimasukkan melalui *hopper* menuju tungku pemanas (*barrel*), didalam *barrel* meterial plastik dipanaskan menggunakan pemanas *heater* dengan temperatur yang sesuai dengan titik leleh dari material plastik tersebut. Selain dilelehkan material plastik akan mengalami proses pencampuran (*mixing*), proses pencampuran yang dilakukan menggunakan bantuan screw selain media tekan (*inject*) juga digunakan sebagai media pencampur material plastik agar diperoleh material plastik yang homogen. Selanjutnya biji plastik yang telah meleleh lalu diinjeksikan kedalam *cavity* dengan tekanan yang telah ditentukan. Bagian-bagian pada *injection unit* dapat dilihat pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 *Injection unit* (Oktaviandi, 2012)

b. *Clamping Unit*

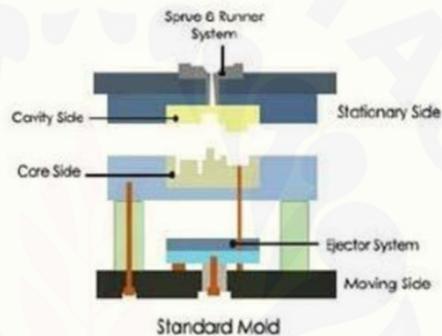
Clamping unit berfungsi untuk membuka dan menutup *mold*. *Clamping unit* juga berfungsi untuk menahan cetakan (*mold*) dengan cara memberikan penahan pada *clamping pressure* agar biji plastik yang dicairkan lalu diinjeksi tidak keluar dari cetakan (*mold*). Pada *clamping unit* terdapat *dwelling* 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). *Clamping unit* dapat dilihat pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12 *Clamping unit* (Sunaryo, 2015)

c. *Mold Unit*

Mold unit berfungsi untuk membentuk biji plastik yang sudah dilelehkan menjadi sebuah produk. *Mold unit* memiliki bagian utama yaitu *cavity side* dan *core side* yang dapat dilihat pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13 *Mold unit* (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.

2.4.1 Parameter *Injection Molding*

Untuk mendapatkan hasil produk dengan kualitas yang baik sesuai dengan yang direncanakan pada proses *injection molding*, maka dilakukan pengaturan parameter yang mempengaruhi jalannya proses produksi. Untuk mengetahui parameter-parameter yang berpengaruh terhadap produk yang dihasilkan maka

dilakukan beberapa kali percobaan, hal ini karena parameter-parameter yang ditentukan ada yang memiliki peran sedikit dan ada juga yang memiliki peran signifikan terhadap hasil produksi dengan kualitas yang baik (Firdaus, 2002).

Parameter-parameter yang berpengaruh terhadap proses produksi dengan menggunakan *mesin injection molding* adalah:

a. Temperatur leleh (*melt temperature*)

Temperatur leleh merupakan suhu yang dibutuhkan untuk mencairkan biji plastik yang disesuaikan dengan titik lelehnya.

b. Batas tekanan (*pressure limit*)

Batas tekanan merupakan batas tekanan udara yang dibutuhkan untuk menggerakkan *injector* yang digunakan untuk mendorong biji plastik yang mencair menuju cetakan (*mold*). Apabila tekanan yang diberikan terlalu rendah, plastik yang mencair tidak akan terinjeksi ke dalam cetakan (*mold*) dan jika tekanan yang diberikan terlalu tinggi, maka akan mengakibatkan plastik yang telah dilelehkan keluar dari dalam cetakan (*mold*) sehingga proses produksi menjadi tidak efisien.

c. Waktu tahan (*holding time*)

Waktu tahan merupakan waktu yang diukur pada saat temperatur leleh yang telah ditentukan telah mencapai hingga keseluruhan bahan plastik pada *barrel* benar-benar mencair. Hal ini dikarenakan dibutuhkannya waktu untuk memanaskan keseluruhan bagian yang ingin dipanaskan. Jika dilakukan waktu tahan yang terlalu cepat maka plastik pada *barrel* belum mencair sempurna sehingga mempersulit laju aliran plastik yang akan diinjeksikan ke dalam cetakan (*mold*) serta produk yang dihasilkan akan mengalami cacat.

d. Waktu penekanan (*holding pressure*)

Waktu penekanan merupakan waktu yang diperlukan untuk memberikan tekanan pada *injector* yang mendorong plastik cair ke dalam cetakan (*mold*). Pengaturan waktu penekanan bertujuan untuk mengetahui jika plastik yang diinjeksi sudah benar-benar mengisi ke dalam seluruh cetakan. Waktu penekanan berhubungan dengan dimensi pada cetakan

(*mold*) yang digunakan. Makin besar cetakan (*mold*) yang digunakan maka waktu penekanan yang diperlukan semakin lama.

e. Temperatur cetakan (*mold temperature*)

Temperatur cetakan merupakan proses pemanasan awal pada cetakan sebelum dituangkan plastik yang telah dilelehkan.

f. Kecepatan injeksi (*injection rate*)

Kecepatan injeksi merupakan kecepatan laju dari biji plastik yang meleleh dari *nozzle* lalu mengisi setiap rongga cetakan (*mold*). Pada mesin-mesin injeksi tertentu terdapat alat untuk mengukur kecepatan dari laju plastik kedalam cetakan, namun pada mesin *injection molding* yang sederhana terkadang tidak dilengkapi dengan alat ukur kecepatan ini.

g. Ketebalan dinding cetakan (*wall thickness*)

Ketebalan dinding cetakan merupakan desain keseluruhan dari cetakan (*mold*) yang digunakan untuk proses produksi. Semakin tebal dinding cetakan yang digunakan maka akan mengakibatkan terjadinya cacat *shrinkage*.

2.4.2 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 kedalam *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 penginjekan kedalam cetakan (*mold*).

c. *Dwelling*

Dwelling merupakan penghentian sementara pada proses *injection* yang berfungsi untuk memastikan material plastik yang diinjeksikan kedalam 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* (Pendinginan)

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* (Pembukaan Cetakan)

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

f. *Ejection* (Pengeluaran)

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.

2.5 Pengertian Komposit

Komposit merupakan campuran makroskopik antara serat atau logam dan matrik yang bertujuan untuk menghasilkan sebuah material baru dengan sifat dan karakteristik yang berbeda dari unsur penyusunnya. Karena perbedaan material penyusun komposit, maka antara matrik dan penguat harus saling berinteraksi antar muka (*interface*), sehingga diperlukan penambahan *binder* (Ramadhona, 2010). Pada pembuatan komposit, untuk mengetahui sifat-sifat pada material maka perlu dilakukan analisis, salah satunya yaitu dengan mengetahui densitas pada material penyusun. Perhitungan nilai densitas ditunjukkan pada persamaan 2.1 (Ristic, 1979).

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

Pada komposit memiliki material penyusun dengan densitas yang berbeda-beda. Perhitungan nilai densitas campuran ditunjukkan pada persamaan 2.2 (Wahyono, 2009).

$$\rho_{campuran} = \frac{m_1+m_2+m_3}{V_1+V_2+V_3} \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana :

- ρ = Densitas (g/cm³)
- m = Massa Produk (gram)
- V = Volume Produk (cm³)

2.6 Cacat *Shrinkage*

Cacat *shrinkage* merupakan salah satu cacat yang terjadi pada proses *injection molding* dimana produk yang dihasilkan mengalami penyusutan selama proses pendinginan didalam dan diluar cetakan sehingga dimensi produk mengalami perubahan (Wahyudi, 2015). Contoh produk yang mengalami cacat *shrinkage* dapat dilihat pada Gambar 2.14.



Gambar 2.14 Cacat *shrinkage* (Mawardi dkk, 2015)

Faktor-faktor yang mempengaruhi cacat *shrinkage* yaitu *injection pressure*, *temperature*, *holding time*, ketebalan cetakan, *mold temperature* dan *cooling time*. Untuk mengantisipasi adanya cacat *shrinkage* dapat dilakukan dengan cara menentukan jenis material plastik yang digunakan, menentukan parameter yang sesuai dengan material, pemilihan jenis cairan pendingin (*cooling*) yang benar, dan menambahkan ukuran pada produk yang akan diproduksi pada cetakan (*mold*) sehingga produk yang dihasilkan memiliki dimensi sesuai standar yang telah ditentukan. Setiap plastik yang akan dicetak menjadi sebuah produk memiliki toleransi persentase cacat *shrinkage* yang berbeda-beda yang akan yang dijelaskan pada Tabel 2.4 berikut ini:

Tabel 2.4 Persentase *shrinkage* pada plastik (Firdaus, 2002)

Material	% <i>Shrinkage</i>
<i>Nylon 6</i>	1 – 1,5
<i>Nylon 6-GR</i>	0,5
<i>Nylon 6/6</i>	1 – 2
<i>Nylon 6/6-GR</i>	0,5
<i>LDPE</i>	1,5 – 3
<i>HDPE</i>	-
<i>Polystyrene</i>	2 – 3
<i>Styrene-Acrylonitrile</i>	0,5 – 0,7

<i>Acrylic</i>	0,3 – 0,6
<i>Polycarbonat</i>	0,8
<i>PVC – Rigid</i>	0,5 – 0,7
<i>PVC – Soft</i>	1 – 3
<i>ABS</i>	0,4 – 0,6
<i>Polypropylene</i>	1,2 – 2
<i>Cellulose Acetate</i>	0,5
<i>Celulose Acetat – Butyrate</i>	0,5
<i>Cellulose Propinate</i>	0,5
<i>Acetal</i>	2

Nilai *shrinkage* biasanya ditunjukkan dalam satuan % rumus yang dapat digunakan untuk mengetahui nilai *shrinkage* dapat dilihat pada persamaan 2.3 (Badri, 2014).

$$S = \frac{V_m - V_p}{V_m} \times 100\% \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana :

S : Nilai *shrinkage*

V_m : Volume ukuran cetakan (mm³)

V_p : Volume ukuran produk (mm³)

Pada proses pembentukan plastik menjadi sebuah produk dengan menggunakan *injection molding* harus dapat memperhatikan parameter-parameter yang digunakan (Oktaviandi, 2012). Pada proses *metal injection molding*, proses *mixing*, jenis serbuk logam dan komposisi bahan mempengaruhi besaran volume cacat *shrinkage* pada produk yang dihasilkan. Hal ini karena 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* (Saidin, 2013).

2.7 Metode Taguchi

Metode Taguchi adalah suatu metode baru dibidang teknik yang berprinsip pada perbaikan mutu atau kualitas produk dan proses, yang bertujuan untuk menekan biaya serta resources yang seminimal mungkin yang 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 meode 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.

Demikian, 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.

2.7.1 Rancangan Percobaan Taguchi

Secara umum, rancangan percobaan pada metode taghuci dibagi menjadi dua tahap yang mencakup mengenai pendekatan penelitian. Kedua tahap tersebut sebagai berikut (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:

$$V_A = (\text{Jumlah level faktor A}) - 1 \dots\dots\dots (2.4)$$

$$= k_A - 1$$

$$V_B = (\text{jumlah level faktor B}) - 1 \dots\dots\dots (2.5)$$

$$= k_B - 1$$

b. Untuk interaksi, misal interaksi A dan B

$$V_{A \times B} = (k_A - 1)(k_B - 1) \dots\dots\dots (2.6)$$

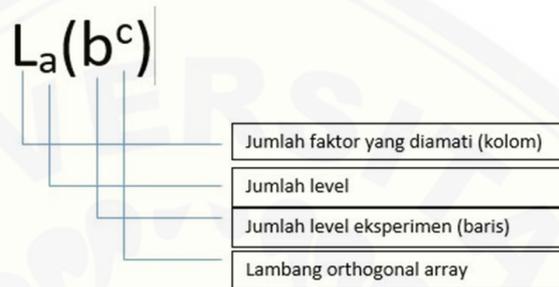
c. Nilai derajat bebas total

$$(k_A - 1) + (k_B - 1) + (k_A - 1)(k_B - 1) \dots\dots\dots (2.7)$$

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 pada penjelasan Gambar 2.15 berikut ini:



Gambar 2.15 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 2.5 berikut ini:

Tabel 2.5 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 2.5 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) 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):

$$S/N = - 10 \log \left[\sum_{i=1}^n \frac{y_i^2}{n} \right] \dots\dots\dots (2.8)$$

dengan:

- n = jumlah data
- y_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):

$$S/N = - 10 \log \left[\sum_{i=1}^n \frac{(y_i - \bar{y})^2}{n} \right] \dots\dots\dots (2.9)$$

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):

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

2) 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.

3) 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 2.6 berikut ini:

Tabel 2.6 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	$V_A = k_A - 1$	$SS_A = nA \sum_{i=1}^n (A_i - \bar{y})^2$	$MS_A = \frac{SS_A}{df_A}$	$\frac{MS_A}{MS_E}$
Faktor B	$V_B = k_B - 1$	$SS_B = nB \sum_{i=1}^n (B_i - \bar{y})^2$	$MS_B = \frac{SS_B}{df_B}$	$\frac{MS_B}{MS_E}$
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:

k_A = 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

4) 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:

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_k$$

H_1 : sedikitnya ada satu pasangan μ yang tidak sama

H_0 diterima apabila nilai dari $F_{hitung} < F_{tabel}$, hal ini mengindikasikan tidak adanya perbedaan rata-rata dari nilai respon yang dihasilkan pada perlakuan yang berbeda, sedangkan H_0 ditolak apabila nilai dari $F_{hitung} > F_{tabel}$, hal ini mengindikasikan adanya perbedaan rata-rata dari nilai respon tersebut. Respon pada setiap eksperimen dapat dimodelkan dalam bentuk (Bhattacharyya dan Johnson, 1977):

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + e_{ij} \dots \dots \dots (2.11)$$

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

Untuk taraf variabel proses A → $H_0 : \alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \dots = \alpha_i = 0$
 H_1 : paling sedikit ada satu $\alpha_i \neq 0$

Untuk taraf variabel proses B → $H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \dots = \beta_j = 0$
 H_1 : paling sedikit ada satu $\beta_j \neq 0$

Jika H_0 diterima maka 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. Jika H_0 ditolak maka mengindikasikan adanya pengaruh variabel proses A dan variabel proses B terhadap respon serta adanya interaksi antara variabel proses A dengan variabel proses B. H_0 diterima atau ditolak berdasarkan pada nilai F_{hitung} yang dirumuskan:

$$\text{Untuk taraf variabel proses A} \rightarrow F_{hitung} = \frac{MS_A}{MS_E} \dots\dots\dots(2.12)$$

$$\text{Untuk taraf variabel proses B} \rightarrow F_{hitung} = \frac{MS_B}{MS_E} \dots\dots\dots(2.13)$$

H_0 diterima pada masing-masing kasus dilakukan jika mengalami kondisi berikut:

$$\text{Untuk taraf variabel proses A} \rightarrow F_{hitung} < F_{\alpha, v_A, v_E} \dots\dots\dots(2.14)$$

$$\text{Untuk taraf variabel proses B} \rightarrow F_{hitung} < F_{\alpha, v_B, v_E} \dots\dots\dots(2.15)$$

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

2.7.2 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 salah satunya 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:

$$\mu \text{ prediksi} = Y + (A - Y) + (B - Y) \dots\dots\dots(2.16)$$

Diketahui:

- μ = rata-rata prediksi pada kondisi optimum
- Y = rata-rata pengukuran
- A, B = faktor yang berpengaruh

2.6.2 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).

$$CI_p = \sqrt{\frac{F_{(\alpha, 1, V_e)} MSE}{N_{eff}}} \dots \dots \dots (2.17)$$

Diketahui:

- CI_p = interval kepercayaan
- $F_{(\alpha, 1, V_e)}$ = 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):

$$\mu \text{ prediksi} - CI_p \leq \mu \leq \mu \text{ prediksi} + CI_p \dots \dots \dots (2.18)$$

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di laboratorium Jurusan Teknik Mesin Universitas Jember yang berada di Jl. Bondowoso – Jember No. 87 Krajan, Kecamatan Patrang Kabupaten Jember Provinsi Jawa Timur. Waktu penelitian dilakukan bulan Februari – Maret 2019. Proses ini meliputi persiapan alat, pengambilan data, analisa data, dan pengambilan kesimpulan.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

a. Mesin *Injection Molding*

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

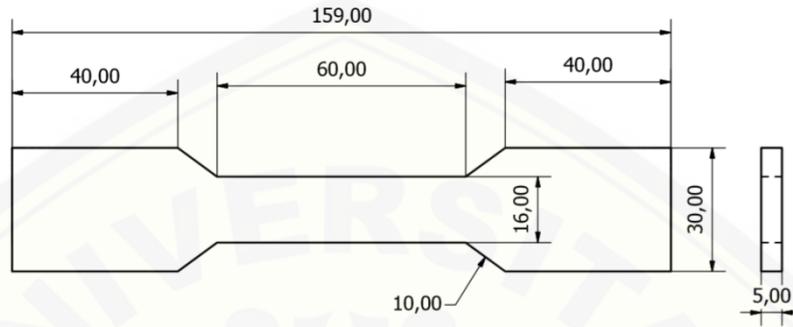
- 1) Model mesin : *Injection molding* tipe pneumatik
- 2) Dimensi : 550 x 500 x 1060 mm
- 3) Tegangan listrik : 220 volt/ 50 hz/ 600 watt
- 4) Tekanan kompresor : 8 bar
- 5) Temperature *heater* : Min 20°C - Max 450°C



Gambar 3.1 Mesin *Injection Molding*

b. Cetakan (*mold*)

Cetakan (*mold*) yang digunakan pada penelitian ini terbuat dari bahan aluminium. Bentuk produk yang dihasilkan pada cetakan (*mold*) yaitu spesimen uji tarik dengan standar ASTM A370.



Gambar 3.2 Dimensi ASTM A370

c. Peralatan Ukur

Peralatan ukur yang digunakan pada penelitian ini antara lain:

1) Timbangan

Alat ini digunakan untuk mengukur massa pada bahan plastik *polypropylene*, serbuk aluminium dan *polyoxymethylene* yang akan digunakan sebagai bahan spesimen.

2) *Heater*

Alat ini digunakan untuk menaikkan temperatur pada *barrel* , untuk mendapatkan temperatur yang diinginkan dilakukan *setting* pada *thermocontrol* .

3) *Thermocontrol*

Alat ini digunakan untuk mengontrol temperatur pada *heater* , agar mendapatkan suhu yang sesuai.

4) *Thermocuple*

Alat ini digunakan untuk mendeteksi suhu di sekitar pemanas, naik turunnya suhu dapat dibaca oleh *thermocuple* yang selanjutnya di teruskan ke *thermocontrol* agar dapat dibaca dan dikontrol.

3.2.2 Bahan

Penelitian ini menggunakan bahan dasar plastik jenis *polypropylene* sebagai *matrix* dengan serbuk aluminium sebagai *filler* dan *polyoxymethylene* sebagai binder. Cetakan terbuat dari bahan aluminium yang dibentuk sesuai dengan desain spesimen uji tarik ASTM A370.

3.3 Variabel 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 penyebab. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah :

- a. *Temperature*
- b. *Holding Time*

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 :

Cacat shrinkage

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:

- a. *Injection Pressure*
- b. *Holding Pressure*
- c. *Cooling time*

3.4 Rancangan Percobaan

3.4.1 Pengaturan Variabel

Pengaturan variabel-variabel pada mesin *injection molding* dilakukan berdasarkan variabel yang mempengaruhi proses yang ditunjukkan dari penelitian-penelitian sebelumnya. Pemilihan level pada *temperature* disesuaikan berdasarkan titik leleh bahan yang digunakan dan pemilihan level pada *holding time* disesuaikan pada dimensi produk yang akan diproduksi. Pengaturan nilai dari variabel-variabel proses yang digunakan dalam penelitian ditunjukkan pada Tabel 3.1 berikut ini:

Tabel 3.1 Variabel-variabel proses yang digunakan

Kode	Variabel Proses	Satuan	Level 1	Level 2	Level 3
A	<i>Temperature</i>	°C	180	190	200
B	<i>Holding Time</i>	Sec	12	15	18

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	<i>Temperature</i>	3	2
2	<i>Holding Time</i>	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 $L_9(3^2)$

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		Cacat <i>Shrinkage</i> (%)		
	Parameter A	Parameter B	1	2	3
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 3.5:

Tabel 3.5 Tabel analisis variansi (ANOVA) (Soejanto, 2009)

Sumber variasi	Degree of freedom (df)	Sum Of Square (SS)	Mean of Square (MS)	F Hitung (F ₀)
Faktor A	V _A = k _A - 1	SS _A = nA ∑ _{i=1} ⁿ (A _i - \bar{y}) ²	MS _A = $\frac{SS_A}{df_A}$	$\frac{MS_A}{MS_E}$
Faktor B	V _B = k _B - 1	SS _B = nB ∑ _{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 = ∑ _{i=1} ⁿ (y - \bar{y}) ²		

Perhitungan analisis variasi dilakukan menggunakan rumus pada Tabel 3.5 adalah sebagai berikut:

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

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

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

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

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

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

- d. Menghitung persen kontribusi setiap parameter

$$SS'_A = SS_A - df_A \cdot MS_{RES} \dots\dots\dots(3.4)$$

$$\rho_A = SS'_A/SST \dots\dots\dots(3.5)$$

Hasil dari perhitungan diatas pada setiap analisis variabel proses kemudian dimasukkan ke dalam Tabel 3.6 berikut ini:

Tabel 3.6 Hasil ANOVA

Variabel	DF	SS	MS	F	P value
proses					
<i>Temperature</i>					
<i> Holding Time</i>					
<i>Error</i>					
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 bahan plastik *polypropylene*, serbuk aluminium, dan plastik *polyoxymethylene* yang akan digunakan saat penelitian dengan komposisi 60%, 30%, 10%.
 - 2) Lakukan proses *mixing* dari bahan plastik *polypropylene*, serbuk aluminium dan *polyoxymethylene* pada suhu 155°C disertai dengan pengadukan selama 30 menit.
 - 3) Tuangkan bahan pada pencetak hingga mengeras.
 - 4) Lakukan proses pemotongan pada bahan yang telah dicetak menjadi butiran-butiran.
 - 5) Membersihkan *mold base* dari kotoran sisa-sisa dari bahan hasil penginjekan sebelumnya.

- b. Memasang *mold base* pada ragam *injection molding* kemudian dikencangkan dan atur kelurusannya antara *mold* dan *nozzle*.
- c. Mengatur parameter pada mesin *injection molding* sesuai dengan rancangan percobaan yang telah ditetapkan.
- d. Melakukan proses pembuangan material sisa hasil percobaan sesuai dengan urutan percobaan yang telah ditetapkan.
- e. Mengatur parameter pada alat *injection molding* untuk mencetak benda kerja sesuai dengan parameter yang ditentukan untuk masing-masing percobaan.
- f. Matikan mesin kemudian melepas dan membersihkan benda kerja dari cairan plastik yang meleleh yang dapat menyebabkan kegagalan produk setelah proses pembuangan material selesai.
- g. Timbang produk hasil *injection molding* untuk mengetahui bobot produk.
- h. Lakukan perhitungan untuk mencari volume pada produk hasil *injection molding* dengan menggunakan rumus:

$$V = \frac{m_p}{\rho_p}$$

Diketahui:

V = Volume Produk

m_p = Massa Produk

ρ_p = Densitas Produk Komposit

- i. Melakukan proses perhitungan untuk mengetahui persentase cacat *shrinkage* pada produk dengan menggunakan rumus yang telah ditetapkan.

3.6 Pengambilan Data

Nilai cacat *shrinkage* dapat dilihat atau diketahui dengan cara membandingkan volume produk cetakan dan volume produk yang dihasilkan. Kemudian dilakukan perhitungan untuk mengetahui nilai persentase cacat *shrinkage* yang terjadi pada produk hasil *injection molding*. Pengolahan data *temperature* dan *holding time* menggunakan metode taguchi dengan mengikuti prosedur-prosedur dan nilai-nilai yang diketahui.

3.7 Karakteristik Respon Optimum

Karakteristik respon optimum yang digunakan pada penelitian ini adalah *smaller is better*. Karakteristik *smaller is better* berlaku untuk nilai dari cacat *shrinkage*. Perhitungan rasio S/N masing-masing parameter kendali dilakukan dengan menggunakan perangkat komputasi statistik.

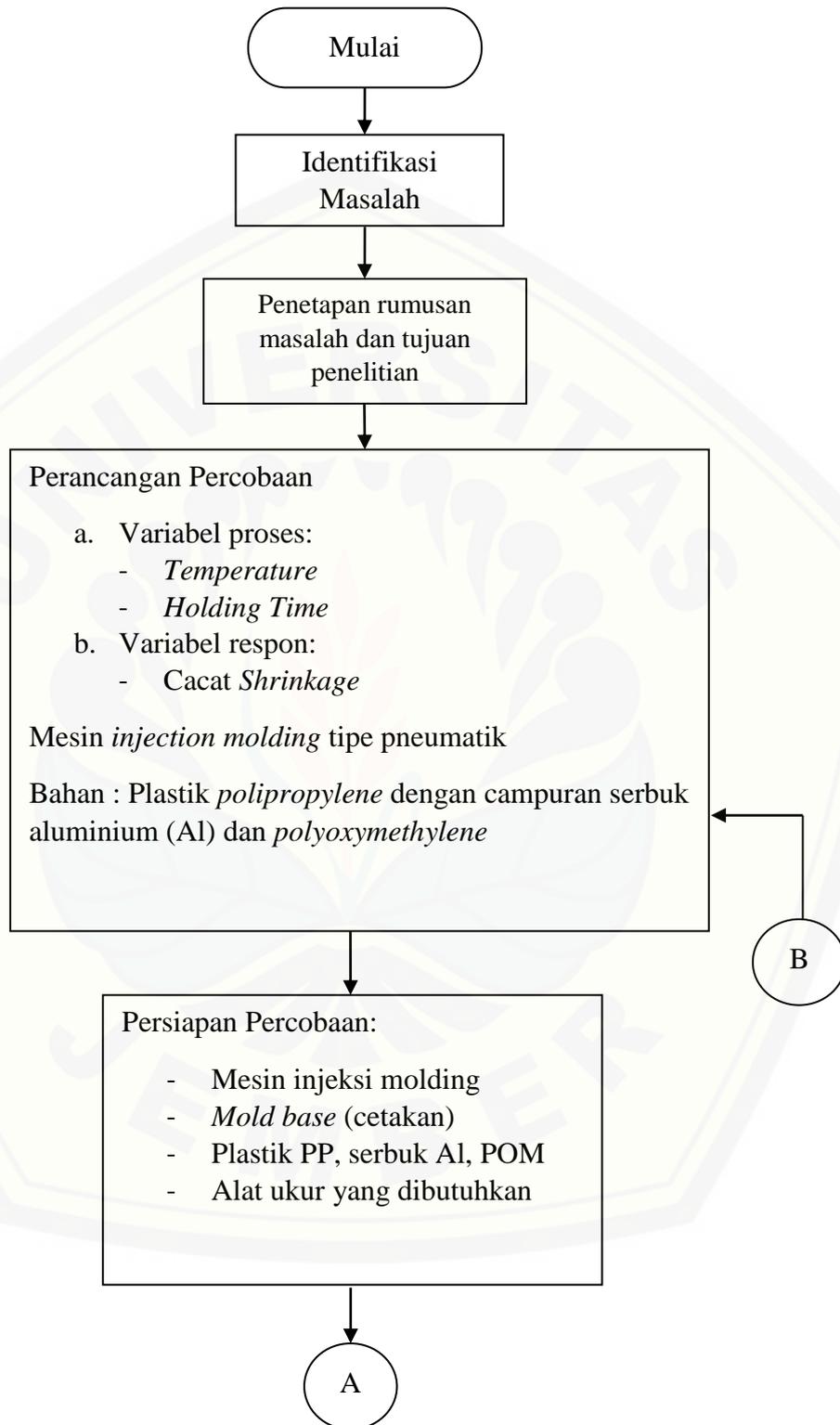
3.8 Jadwal Kegiatan Penelitian

Jadwal pelaksanaan kegiatan penelitian ini akan dilaksanakan seperti pada Tabel 3.7 sebagai berikut:

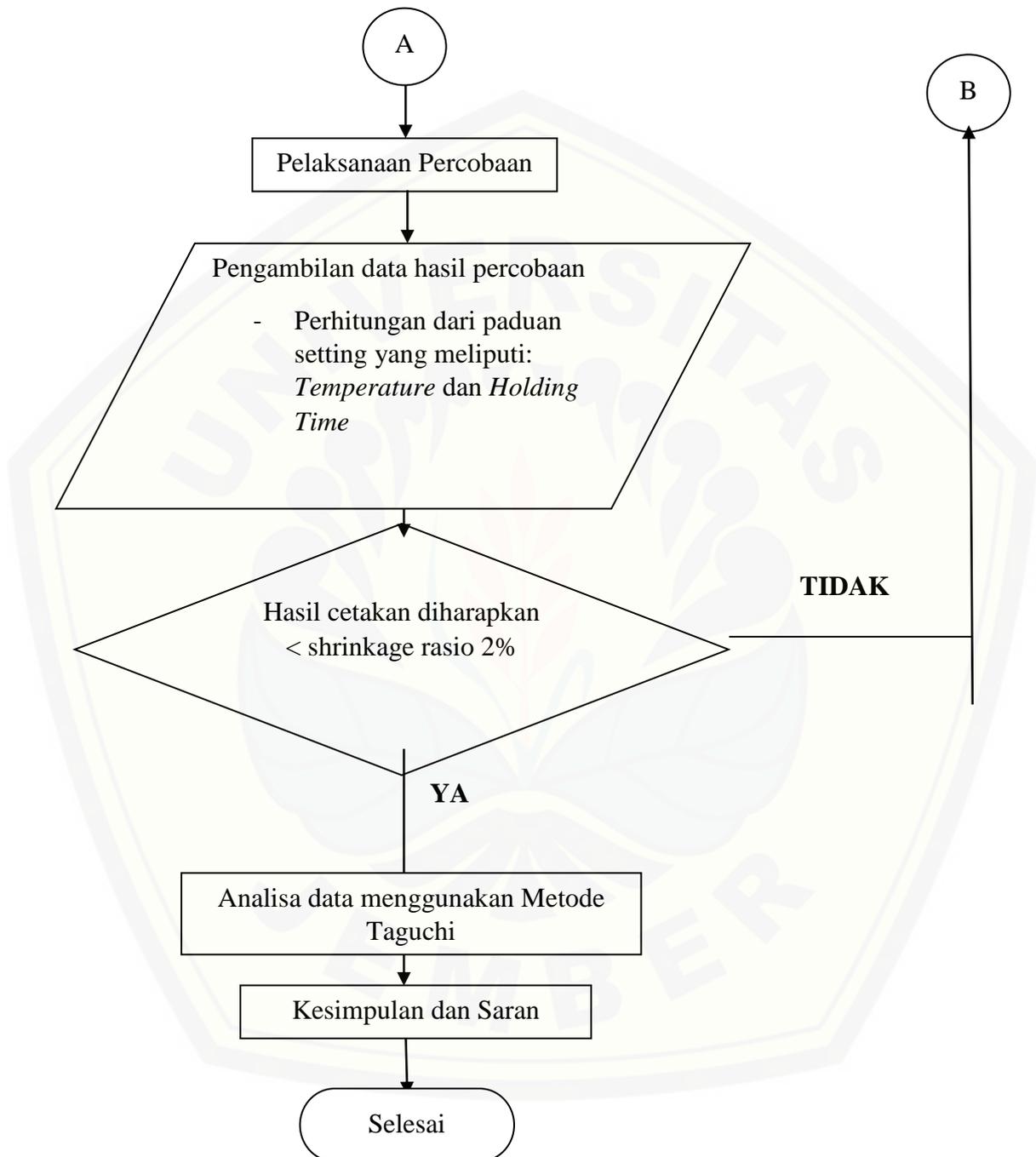
Tabel 3.7 Jadwal Pelaksanaan Kegiatan

Kegiatan	November				Desember				Januari				Februari				Maret			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Studi Pustaka	■	■	■	■																
Pengajuan Judul					■															
Penyusunan Proposal						■	■	■												
Seminar Proposal									■											
Persiapan Alat dan Bahan										■	■									
Pengerjaan Penelitian											■	■	■	■						
Pengolahan Data													■	■	■	■				
Konsultasi Akhir																■	■	■		
Seminar Hasil																	■	■		
Ujian Skripsi																		■	■	

3.9 Diagram Alir



Gambar 3.3 Diagram alir penelitian



Gambar 3.4 Diagram alir metode penelitian

BAB 5 PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari hasil eksperimen dan analisis hasil dari penelitian yang berjudul "Pengaruh Variasi *Temperature* dan *Holding Time* pada Proses *Metal Injection Molding* Al/PP Terhadap Cacat *Shrinkage*" yaitu sebagai berikut:

- a. Pada perhitungan nilai distribusi F, parameter *temperature* memiliki pengaruh yang signifikan terhadap persentase cacat *shrinkage* sedangkan pada parameter *holding time* memiliki pengaruh yang tidak signifikan karena nilai F_{hitung} lebih kecil dari nilai F_{tabel} dengan nilai selisih 0,96.
- b. Pada setting parameter *metal injection molding* untuk menganalisis cacat *shrinkage* pada produk spesimen uji tarik ASTM A370 menggunakan bahan campuran dengan komposisi *polypropylene* 400 gram, *aluminium* 200 gram, dan *polyoxymethylene* 66,6 gram dipengaruhi oleh *temperature* 82,53% dan *holding time* 9,53%.
- c. Pada setting parameter optimum pembuatan spesimen uji tarik ASTM A370 dengan nilai *shrinkage* paling kecil terdapat pada *temperature* 180°C dan *holding time* 12 detik dengan rata-rata persentase cacat *shrinkage* sebesar 3,60% sedangkan nilai *shrinkage* paling besar terdapat pada *temperature* 200°C dan *holding time* 18 detik dengan rata-rata persentase cacat *shrinkage* sebesar 8,85%.

5.2 Saran

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

- a. Pada penelitian selanjutnya dianjurkan untuk melakukan penambahan parameter seperti parameter *mold temperature* dan *cooling time* agar mendapatkan hasil produk yang lebih optimum sehingga cacat *shrinkage* dapat dikurangi seminimal mungkin.

- b. Metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu metode analisa taguchi, diharapkan pada penelitian selanjutnya dapat mengaplikasikan metode lain seperti desain faktorial atau *respon surface* sehingga hasil yang diperoleh dapat dibandingkan persentasenya.



DAFTAR PUSTAKA

- Ali, M., dan A. Ramadhan. 2013. Pengolahan Sampah Plastik Menjadi Minyak Menggunakan Proses Pirolisis. *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*. 4(1).
- Badri, M. G. 2014. Sifat Mekanik dan Cacat Penyusutan (*Shrinkage*) Akibat Variasi Komposisi Campuran Daur Ulang *Polyethylene* Pada *Injection Moulding*. *Jurnal Rotor*. 7(1).
- Bhattacharya, G. K., dan R. A. Johnson. 1977. *Statistical Concept and Methods*. New York: Wiley and Sons.
- Burhanuddin, Y., S. Harun, dan L. A. Pukesa. 2015. Optimasi Ketebalan Dinding Model Atap Menara Siger Pada Proses *Injection Molding*. *Jurnal Mechanical*. 6(2).
- Cutnell, J. D., dan K. W. Johnson. 2012. *Physics 9 Edition*. United States of America: Kaye Pace.
- Fathoni, M. A. 2015. Analisa Pengaruh Parameter Tekanan terhadap Cacat *Warpage* Dari Produk *Injection Molding* Berbahan *Polypropylene*. *Skripsi*. Surakarta: Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Firdaus dan S. Tjitro. 2002. Studi Eksperimental Pengaruh Parameter Proses Pencetakan Bahan Plastik Terhadap Cacat Penyusutan (*Shrinkage*) Pada Benda Cetak *Pneumatics Holder*. *Jurnal Teknik Mesin*. 4(2): 75-80.
- Jufri, M. 2011. Optimalisasi Proses *Injection Moulding* Pada Nanoalumina. *Jurnal Teknik Industri*. 12(1): 16-19.
- Kristanto, Y., B. Kusharjanta, dan Ubaidillah. 2013. Pengaruh Suhu Pemanas Terhadap *Shrinkage* Pada Proses Injeksi *Polypropylene*. *Mekanika*. 12(1).
- Lestari, D. Y. 2010. Kajian Modifikasi Zeolit Alam Dari Berbagai Negara. *Prosiding Seminar Nasional Kimia dan Pendidikan Kimia*. ISBN: 978.
- Liu, S. J. 2012. *Injection Molding In Polymer Matrix Composites*. Taiwan: Woodhead Publishing Limited.
- Mawardi, I., Hasrin, dan Hanif. 2015. Analisis Kualitas Produk Dengan Pengaturan Parameter Temperatur Injeksi Material Plastik *Polypropylene* (PP) Pada Proses *Injection Molding*. *Malikussaleh Industrial Engineering Journal*. 4(2): 30-35.

- Mujiarto, I. 2005. Sifat dan Karakteristik Material Plastik dan Bahan Aditif. *Traksi*. 3(2).
- Oktaviandi, S. D. 2012. Analisa Pengaruh Parameter Tekanan dan Waktu Penekanan Terhadap Sifat Mekanik dan Cacat Penyusutan Dari Produk *Injection Molding* Berbahan *Polyethylene* (PE). *Skripsi*. Cilegon: Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
- Oxtoby, D. W., H. P. Gillis, dan N. H. Nachtrieb. 2013. Prinsip-prinsip Kimia Modern Edisi Keempat Jilid 2. Jakarta: Erlangga.
- Park, S. H. 1996. *Robust Desain and Analysis For Quality Engineering*. London: Chapman and Hall.
- Ramadhona, S. 2010. Pembuatan Komposit Matriks Logam Berpenguat Keramik (Al/SiC) Dicampur Kayu Dengan Metode Metalurgi Serbuk. *Skripsi*. Jakarta: Program Studi Fisika Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah.
- Ristic, M. M. 1979. *Sintering New Developments Material Science Monographs*. New York: Elsevier Scientif Publishing Company.
- Ross, P. J. 1988. *Taguchi Techniques For Quality Engineering*. New York: McGraw-Hill.
- Saidin, H., dan M. Azuddin. 2013. *Preparation of Aluminium Feedstock For Green Part Specimen Using Metal Injection Molding*. *Applied Mechanics and Materials*. 465-466: 1250-1254.
- Simanjuntak, A. M., dan S. Abda. 2013. Karakterisasi Komposit Matriks Logam Al-SiC Pada Produk Kanvas Rem Kereta Api. *Jurnal E-Dinamis*. 6(2).
- Soejanto, I. 2009. *Desain Eksperimental Dengan Metode Taguchi*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Sonawan, Hery, dan S. Rochim. 2003. *Pengantar Untuk Memahami Proses Pengelasan Logam*. Bandung: Alfabeta.
- Sunaryo, F. H. 2015. Perancangan *Mold Base* YO-YO Tipe 1A Pada PT. Yogyakarta Presisi Teknikatama Industri. *Skripsi*. Yogyakarta: Universitas Atma Jaya.
- Syamsul, H. 1995. *Teknologi Bahan 3*. Jakarta: Pusat Pengembangan Pendidikan Politeknik.

- Virdhian, S., dan Pujiyanto. 2014. Pengembangan Komponen *Near Net Shape* Berbiaya Rendah dengan Proses *Metal Injection Molding*. *Jurnal Riset Industri*. 8(1).
- Vlack, L. H. V. 1989. *Elements of Materials Science and Engineering*. Wesley: Addison. Terjemahan oleh Sriati, dan Djaprie. 2004. Elemen-elemen Ilmu dan Rekayasa Material. Edisi Kelima. Jakarta: Erlangga.
- Wahyono, E., dan S. Fahamsyah. 2009. Rumus Pintar Fisika SMP. Jakarta Selatan: PT Wahyumedia.
- Wahyudi, U. 2015. Pengaruh *Injection Time* dan *Backpressure* Terhadap Cacat Penyusutan Pada Produk Kemasan Toples Dengan *Injection Molding* Menggunakan Material *Polistirene*. *Jurnal Teknik Mesin (JTM)*. 4(3).

LAMPIRAN

6.1 Lampiran Tabel Minitab

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
	Temperature	Holding Time	Shrinkage	SNRA1	MEAN1	FITS	RESI	ACF1
1	180	12	0.0360	28.8739	0.0360	28.5698	0.304113	0.618772
2	180	15	0.0367	28.7067	0.0367	28.1173	0.589397	0.212475
3	180	18	0.0520	25.6799	0.0520	26.5734	-0.893510	0.029690
4	190	12	0.0583	24.6866	0.0583	25.1539	-0.467263	-0.085059
5	190	15	0.0601	24.4225	0.0601	24.7013	-0.278825	-0.213866
6	190	18	0.0638	23.9036	0.0638	23.1575	0.746089	-0.358334
7	200	12	0.0702	23.0733	0.0702	22.9101	0.163150	-0.439490
8	200	15	0.0781	22.1470	0.0781	22.4576	-0.310572	-0.264188
9	200	18	0.0885	21.0611	0.0885	20.9137	0.147421	
10								
11								
12								
13								

Gambar 1. Tabel minitab

6.2 Analisa ANOVA

Method

Factor coding (-1, 0, +1)

Factor Information

Factor	Type	Levels	Values
Temperature	Fixed	3	180, 190, 200
Holding Time	Fixed	3	12, 15, 18

Gambar 2. Informasi tiap faktor

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Temperature	2	48.736	24.3679	43.60	0.002
Holding Time	2	6.574	3.2869	5.88	0.064

Error	4	2.236	0.5589
Total	8	57.545	

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.747624	96.11%	92.23%	80.33%

Gambar 3. Analisis varian dari S/N rasio

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	24.728	0.249	99.23	0.000	
Temperature					
180	3.025	0.352	8.58	0.001	1.33
190	-0.391	0.352	-1.11	0.330	1.33
Holding Time					
12	0.816	0.352	2.32	0.081	1.33
15	0.364	0.352	1.03	0.360	1.33

Regression Equation

$$\text{SNRA1} = 24.728 + 3.025 \text{ Temperature}_{180} - 0.391 \text{ Temperature}_{190} - 2.635 \text{ Temperature}_{200} + 0.816 \text{ Holding Time}_{12} + 0.364 \text{ Holding Time}_{15} - 1.180 \text{ Holding Time}_{18}$$

Gambar 4. Koefisien tiap parameter

Autocorrelation Function: SNRA1

Autocorrelations

Lag	ACF	T	LBQ
1	0.618772	1.86	4.74
2	0.212475	0.48	5.38
3	0.029690	0.07	5.39
4	-0.085059	-0.19	5.53
5	-0.213866	-0.47	6.67

6	-0.358334	-0.77	10.90
7	-0.439490	-0.88	20.46
8	-0.264188	-0.49	27.37

Gambar 5. Nilai ACF

Response Table for Signal to Noise Ratios

Smaller is better

Level	Temperature	Holding Time
1	27.75	25.54
2	24.34	25.09
3	22.09	23.55
Delta	5.66	2.00
Rank	1	2

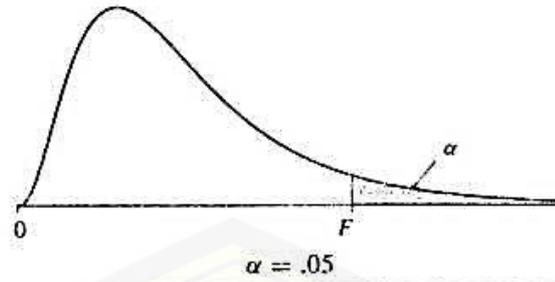
Response Table for Means

Level	Temperature	Holding Time
1	0.04157	0.05483
2	0.06073	0.05830
3	0.07893	0.06810
Delta	0.03737	0.01327
Rank	1	2

Gambar 6. Rata-rata data pada tabel



6.3 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	1.00

6.4 Tabel Kolmogorov-Smirnov

$n \setminus \alpha$	0.001	0.01	0.02	0.05	0.1	0.15	0.2
1		0.99500	0.99000	0.97500	0.95000	0.92500	0.90000
2	0.97764	0.92930	0.90000	0.84189	0.77639	0.72614	0.68377
3	0.92063	0.82900	0.78456	0.70760	0.63604	0.59582	0.56481
4	0.85046	0.73421	0.68887	0.62394	0.56522	0.52476	0.49265
5	0.78137	0.66855	0.62718	0.56327	0.50945	0.47439	0.44697
6	0.72479	0.61660	0.57741	0.51926	0.46799	0.43526	0.41035
7	0.67930	0.57580	0.53844	0.48343	0.43607	0.40497	0.38145
8	0.64098	0.54180	0.50654	0.45427	0.40962	0.38062	0.35828
9	0.60846	0.51330	0.47960	0.43001	0.38746	0.36006	0.33907
10	0.58042	0.48895	0.45662	0.40925	0.36866	0.34250	0.32257
11	0.55588	0.46770	0.43670	0.39122	0.35242	0.32734	0.30826
12	0.53422	0.44905	0.41918	0.37543	0.33815	0.31408	0.29573
13	0.51490	0.43246	0.40362	0.36143	0.32548	0.30233	0.28466
14	0.49753	0.41760	0.38970	0.34890	0.31417	0.29181	0.27477
15	0.48182	0.40420	0.37713	0.33760	0.30397	0.28233	0.26585
16	0.46750	0.39200	0.36571	0.32733	0.29471	0.27372	0.25774
17	0.45440	0.38085	0.35528	0.31796	0.28627	0.26587	0.25035
18	0.44234	0.37063	0.34569	0.30936	0.27851	0.25867	0.24356
19	0.43119	0.36116	0.33685	0.30142	0.27135	0.25202	0.23731
20	0.42085	0.35240	0.32866	0.29407	0.26473	0.24587	0.23152
25	0.37843	0.31656	0.30349	0.26404	0.23767	0.22074	0.20786
30	0.34672	0.28988	0.27704	0.24170	0.21756	0.20207	0.19029
35	0.32187	0.26898	0.25649	0.22424	0.20184	0.18748	0.17655
40	0.30169	0.25188	0.23993	0.21017	0.18939	0.17610	0.16601
45	0.28482	0.23780	0.22621	0.19842	0.17881	0.16626	0.15673
50	0.27051	0.22585	0.21460	0.18845	0.16982	0.15790	0.14886
OVER 50	1.94947	1.62762	1.51743	1.35810	1.22385	1.13795	1.07275
	\sqrt{n}						

6.5 Bahan Penelitian



Gambar 7. Plastik *polypropylene*



Gambar 8. Serbuk aluminuim

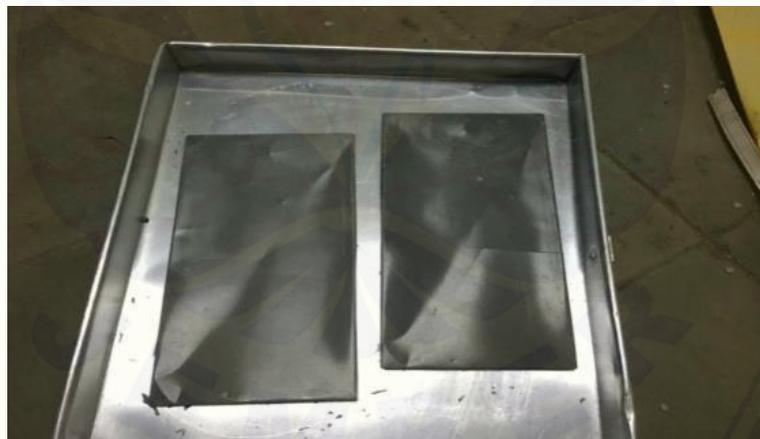


Gambar 9. Plastik *Polyoxymethylene*

6.6 Proses Mixing



Gambar 10. Proses *mixing* bahan



Gambar 11. Pencetakan bahan komposit



Gambar 12. Biji komposit

6.7 Foto Pengambilan Data



Gambar 13. *Thermocontrol temperature*



Gambar 14. *Thermocontrol holding time*



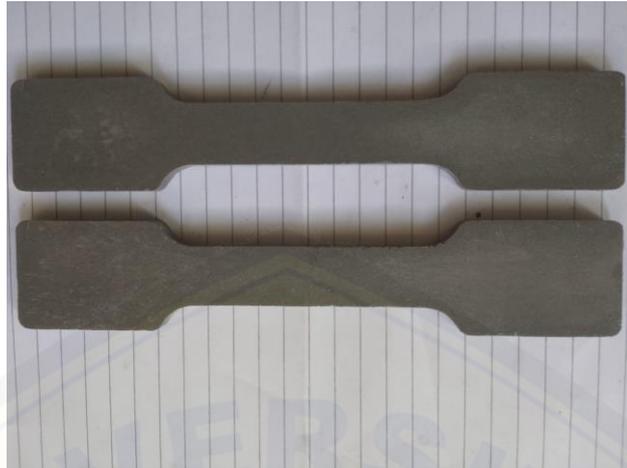
Gambar 15. *Thermocontrol mold temperature*



Gambar 16. Proses pencetakan bahan



Gambar 17. Proses pengeluaran spesimen



Gambar 18. Hasil pencetakan spesimen uji tarik



Gambar 19. Penimbangan bobot produk