



**OPTIMASI PRODUKSI TUTUP BOTOL 500 ml PADA PROSES
INJECTION MOULDING MENGGUNAKAN METODE
*RESPONSE SURFACE***

SKRIPSI

Oleh

Kurniawan Purnama Putra

NIM 131910101077

PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2017



**OPTIMASI PRODUKSI TUTUP BOTOL 500 ml PADA PROSES
INJECTION MOULDING MENGGUNAKAN METODE
*RESPONSE SURFACE***

SKRIPSI

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

Oleh

Kurniawan Purnama Putra

NIM 131910101077

PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

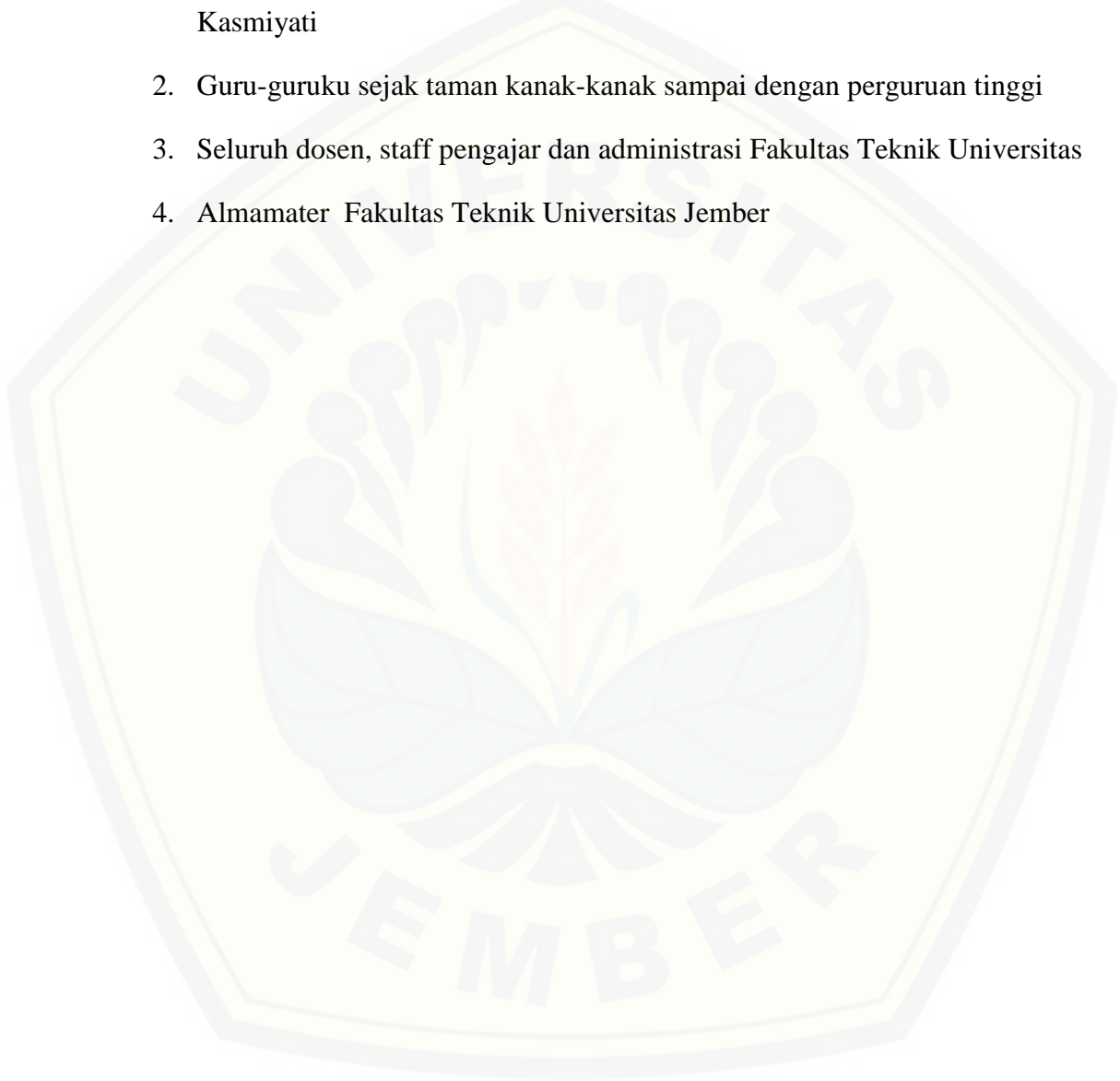
UNIVERSITAS JEMBER

2017

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk :

1. Kedua orang tua saya tercinta, ayahanda Eddy Purnomo dan Ibu Kasmiyati
2. Guru-guruku sejak taman kanak-kanak sampai dengan perguruan tinggi
3. Seluruh dosen, staff pengajar dan administrasi Fakultas Teknik Universitas
4. Almamater Fakultas Teknik Universitas Jember



MOTO

Boleh jadi kamu membenci sesuatu, padahal ia amat baik bagimu, dan boleh jadi (pula) kamu menyukai sesuatu padahal ia amat buruk bagimu, Allah mengetahui sedangkan kamu tidak mengetahui
(terjemahan Surat Al-Baqarah ayat 216)¹

Banyak hal yang bisa menjatuhkanmu, satu-satunya hal yang benar benar dapat menjatuhkanmu adalah sikapmu sendiri.

(R.A Kartini)

Semuanya akan terlihat tidak mungkin, sampai semuanya selesai

(Nelson Mandela)

Learn from yesterday, live for today, hope for tomorrow

(Albert Einstein)

¹ Departemen Agama Republik Indonesia. 1998. *Al-Qur'an dan Terjemahannya*. Semarang: PT Kumudasmoro Grafindo.

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Kurniawan Purnama Putra

NIM : 131910101077

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Optimasi Produksi Tutup Botol 500 ml Pada Proses *Injection Moulding* Menggunakan Metode *Response Surface*” 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 di junjung 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, 2 juni 2017

Yang Menyatakan,

Kurniawan Purnama Putra
NIM 131910101077

SKRIPSI

**OPTIMASI PRODUKSI TUTUP BOTOL 500 ml PADA PROSES
INJECTION MOULDING MENGGUNAKAN METODE
RESPONSE SURFACE**

Oleh

Kurniawan Purnama Putra

NIM 131910101077

Pembimbing

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

Dosen Pembimbing Anggota : Dr. R. Koekoeh K.W, S.T.,M.Eng.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Optimasi Produksi Tutup Botol 500 ml Pada Proses *Injection Moulding* Menggunakan Metode *Response Surface*” karya Kurniawan Purnama Putra telah diuji dan disahkan pada:

Hari, tanggal : Jum’at, 2 Juni 2017

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji

Dosen Pembimbing Utama,

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

Penguji I,

M. Fahrur Rozy H., S.T., M.T
NIP 19800307 201212 1 003

Dosen Pembimbing Anggota,

Dr.R.Koekoeh.K.W,S.T.,M.Eng.
NIP. 19670708 199412 1 001

Penguji II,

Ir.Digdo Listiyadi S.,M.Sc.
NIP 19680617 199501 1 001

Mengesahkan
Dekan,

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

RINGKASAN

OPTIMASI PRODUKSI TUTUP BOTOL 500 ml PADA PROSES INJECTION MOULDING MENGGUNAKAN METODE RESPONSE SURFACE

Kurniawan Purnama Putra, 131910101077; 2017; 86 halaman; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Plastik merupakan bahan atau material yang tidak dapat dipisahkan dari kehidupan manusia karena mudah di dapat, praktis , ringan dan tentunya modern. Hampir di segala bidang kita akan selalu menjumpai barang-barang yang terbuat dari bahan plastik, seperti bahan pembungkus atau kemasan baik untuk makanan atau minuman, alat-alat rumah tangga, elektronik dan masih banyak lagi. Hal ini dikarenakan bahan plastik memiliki sifat-sifat seperti ringan dan mudah dibentuk serta memiliki sifat-sifat yang diinginkan dengan *energy* dan kerja yang minimum. Dalam memproduksi barang-barang menggunakan bahan plastic ada beberapa metode yang lazim digunakan seperti *blow moulding*, *compression moulding*, *extrusion moulding*, *transfer moulding* dan *injection moulding*.

Injection moulding adalah salah satu operasi yang paling umum dan serba guna untuk produksi massal pada komponen plastik yang kompleks. *Injection moulding* merupakan suatu proses pembentukan plastik kedalam bentuk yang diinginkan dengan cara menekan plastik cair kedalam sebuah ruang (*cavity*). *Injection moulding* memiliki beberapa langkah proses, yaitu mulai dari memasukkan biji plastik kedalam *hopper*, kemudian biji plastik masuk kedalam *barrel*/pemanas yang menjadikan material plastik meleleh. Material plastik leleh didorong oleh putaran *screw*, sehingga mengalir ke *nozzle*, lalu menuju *sprue*, *runner*, *gate* dan masuk ke dalam *cavity*. Kemudian material yang ada didalam *cavity* akan ditahan didalam *mould* di bawah tekanan tertentu (*holding pressure*)

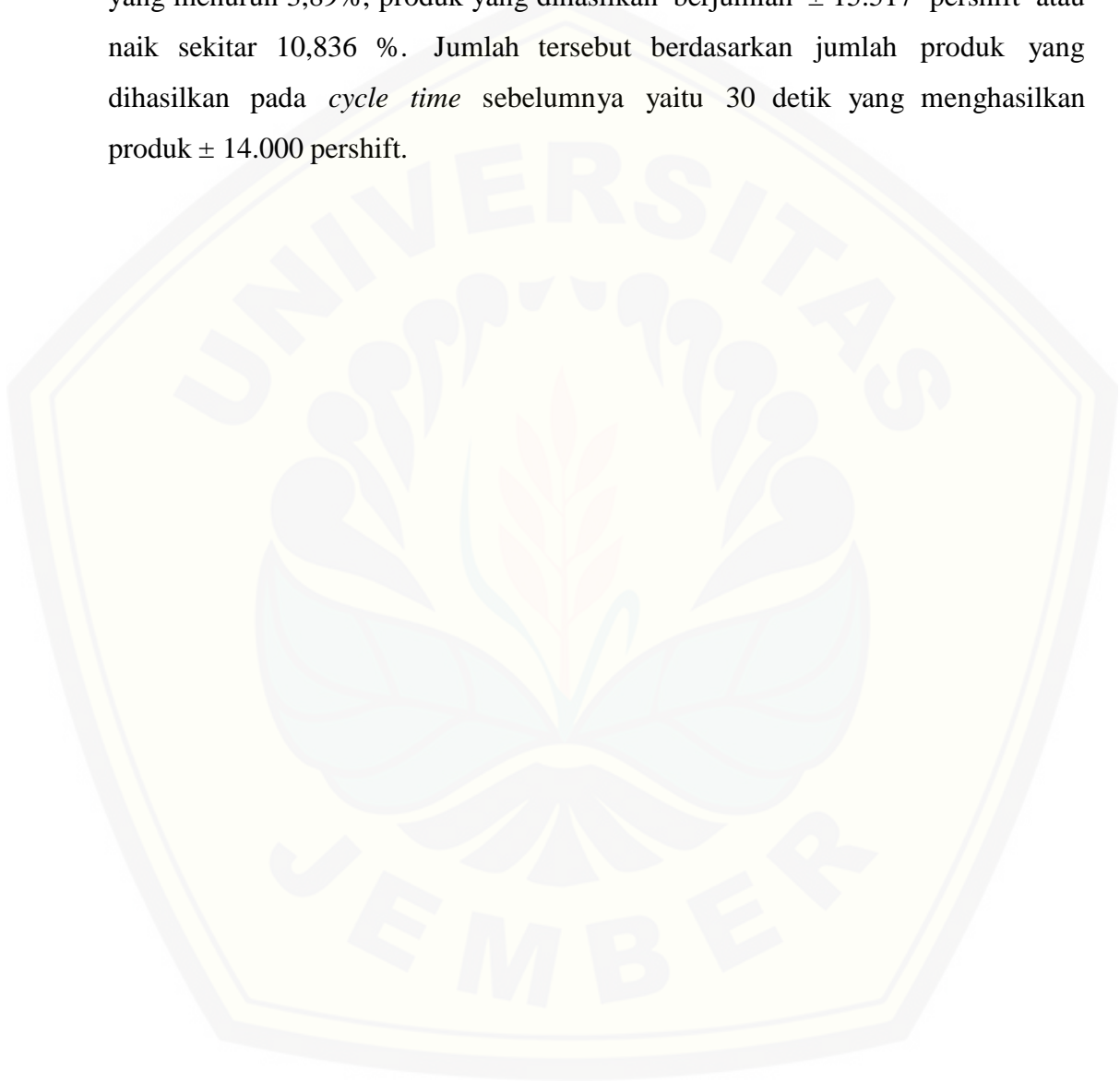
untuk menjaga tidak ada *shrinkage* saat produk mengalami proses pendinginan (*cooling*).

PT. Berlina Tbk merupakan perusahaan yang memproduksi komponen komponen dan peralatan yang terbuat dari plastik. Salah satu mesinnya adalah ARB 100 yang merupakan salah satu mesin *injection moulding* yang memproduksi tutup botol 500 ml. Dalam memproduksi tutup botol ini, *cycle time* PT. Berlina Tbk telah mencapai diatas standart yaitu 30 detik, karena *cycle time* dari perhitungan engineering (Divisi Desain *Mould*) adalah 28 detik. Ini merupakan pencapaian nilai yang tidak optimal dan cukup merugikan perusahaan karena dengan semakin lama *cycle time* produksi maka akan menambah waktu produksi. Nilai *cycle time* ini didapat dari beberapa *trial* manual yang dilakukan oleh PT. Berlina. *Cycle time* atau waktu siklus adalah waktu yang dibutuhkan mesin untuk memproduksi suatu produk. Besar kecilnya *cycle time* dapat dipengaruhi beberapa faktor : antara lain kesalahan desain *mould* dan kesalahan operasi akibat dari parameter proses *injection* kurang sesuai. Dalam penelitian ini akan dilakukan analisis dan evaluasi terhadap parameter-parameter (variabel faktor) *injection* tersebut, dengan harapan dapat mempercepat *cycle time* tanpa mengurangi kualitas produk dengan menggunakan metode statistik *response surface*.

Dari hasil observasi dan study literatur didapatkan setting standart perusahaan yakni *inject pressure 1450 bar*, *nozzle temperature 260 °C*, dan *cooling time 15 detik*. Dengan setting perusahaan didapatkan hasil respon *cycle time 30 detik*, *netto 34 gram* dan *prosentase reject 15%* . Berdasarkan data tersebut optimasi dirasa perlu untuk dapat meningkatkan jumlah produksi per shiftnya.

Data yang diambil diperusahaan menggunakan desain *box behnken* sebelum selanjutnya dianalisis dan optimasi menggunakan software minitab 16. Dari hasil analisa data menggunakan software minitab 16 didapatkan hasil Dari hasil Keadaan optimum dihasilkan pada kondisi *inject pressure* sebesar 1420 bar; *nozzle temperature* sebesar 264,8 °C; dan *cooling time* 14,08 detik. Pada keadaan

ini produksi dapat naik sebesar 10,836%. Dari keadaan optimum tersebut *cycle time* yang dihasilkan yaitu 27,92 detik, *netto* yang dihasilkan sesuai dengan standar yaitu 33,5820 gram dan *presentase reject* yang dihasilkan yaitu 11,11%. Dengan *cycle time* 27,92 detik dengan *netto* sesuai standar dan *prosentase reject* yang menurun 3,89%, produk yang dihasilkan berjumlah ± 15.517 pershift atau naik sekitar 10,836 %. Jumlah tersebut berdasarkan jumlah produk yang dihasilkan pada *cycle time* sebelumnya yaitu 30 detik yang menghasilkan produk ± 14.000 pershift.



SUMMARY

THE OPTIMIZATION OF BOTTLE CAPS 500 ml PRODUCTION AT THE PROCESS OF INJECTION MOULDING BY USING RESPONSE SURFACE

Kurniawan Purnama Putra, 131910101077; 2017; 86 pages; Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Jember University

Plastic is a material can not be separated from human life because it is in the can, a practical, lightweight and modern course. Almost in all fields we will always find items made from plastic materials, such as wrapping or packaging material either for food or beverages, household appliances, electronics and much more. This is because the plastic material has properties such as lightweight and easy to set up and has the desired properties with of energy a minimum and labor. In producing goods using plastic materials there are some methods that are commonly used such as blow molding, compression molding, extrusion molding, transfer molding and injection molding.

Injection molding is one of the most common operations and versatile for mass production of complex plastic components. Injection molding is a process of plastic forming into a desired shape by means of pressing molten plastic into a space(cavity). Injection molding has a multi-step process, starting from inserting plastic pellets into the hopper, then plastic pellets into barrels/ heating which makes the plastic material is melted. Melting plastic material is driven by the rotation of the screw, so that the flow to the nozzle, and then toward the sprue, runner, gate and into the cavity. Then the material present in the cavity will be retained within the mold under a certain pressure(holding pressure) to keep no shrinkage when the product cooling process(cooling).

PT. Berlina Tbk is a company that manufactures components and equipment made of plastic. One of the engines are ARB 100 which is one of the machine injection molding that produces a 500 ml bottle caps. In producing this bottle caps, cycle time PT. Berlina Tbk has reached above the standard of 30

seconds, because the cycle time of the calculation of engineering Design (Mold Division) is 28 seconds. This is an achievement of value is not optimal and quite detrimental to the company due to the longer cycle production time, it will increase the production time. value Cycle time is obtained from several trial user conducted by PT. Berlina. Cycle time or cycle time is the time it takes the machine to produce a product. The size of the cycle time can be influenced by several factors: including design errors mold and operating errors as a result of process parameters the injection are less appropriate. In this research will be the analysis and evaluation of the parameters (variable factor) injection, of the with the hope to speed up the cycle time without reducing the quality of the product by using statistical methods response surface.

From the observation and study of the literature found that the company standard setting 1450 bar injection pressure, nozzle temperature of 260 ° C, and cooling time 15 seconds. By setting the company showed the response cycle time of 30 seconds, a net 34 gram and 15% reject percentage. Based on these data optimization is necessary to increase the amount of production per shift nya.

The data taken in the company using design box benhken before then analyzed and optimization using Minitab software 16. From the data analysis using the software Minitab 16 is obtained from the optimum situation results generated under conditions injection amounting to 1420 bar pressure; nozzle temperature at 264.8 ° C; and the cooling time of 14.08 seconds. In this state of production can be increased by 10.836%. From the state of the optimum cycle time generated is 27.92 seconds, net produced according to the standard that is 33.5820 grams and reject percentage the resulting is 11.11%. With a cycle time 27.9161 seconds with a net according to the standard and the percentage of rejects decreased 3.89%, the resulting product amounts to ± 15,517 /shift or up approximately 10.836%. The amount is based on the number of products produced in the cycle time previous of 30 seconds to produce ± 14,000 /shift

PRAKATA

Puji syukur ke hadirat Allah SWT, atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Optimasi Produksi Tutup Botol 500 ml Pada Proses *Injection Moulding* Menggunakan Metode *Response Surface*”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

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

1. Kedua orang tua saya, Eddy Purnomo dan Ibu Kasmiyati terimakasih untuk dukungan moril dan materil serta doa yang selalu dipanjatkan sehingga saya bisa menyelesaikan studi S1;
2. Bapak Ir. Dwi Djumhariyanto, M.T. selaku Dosen Pembimbing utama, dan Bapak Dr. R. Koekoeh K.W., S.T.,M.Eng. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu dan pikiran serta perhatiannya guna memberikan bimbingan dan pengarahan demi terselesaikannya skripsi ini;
3. Bapak M. Fahrur Rozy H., S.T.,M.T. selaku dosen penguji I dan Bapak Ir.Digdo Listiyadi S.,M.Sc. selaku dosen penguji II yang memberikan saran dan kritikan bersifat konstruktif untuk penyusunan skripsi ini;
4. Teman seperjuangan Teknik Mesin 2013 (M15) yang sudah berjuang bersama dari masa ospek sampai menempuh skripsi ditahun terakhir perkuliahan, salam solidarity forever strong;
5. Sahabat terdekat dan seperantauan, Jimi, Dirga, Eranio, Singgih, akbar, Silvi, Rizka, welli yang selalu ada untuk mendengarkan keluh kesah saya dan saling menyemangati dari awal kuliah sampai akhir;
6. Partner saya Rizky Aprilia Putri, yang selalu memberi semangat dan motivasi untuk berjuang dalam perkuliahan;

7. 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.
8. PT. BERLINA Tbk yang telah memberikan kesempatan kepada saya untuk dapat melaksanakan penelitian;

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, 2 Juni 2017

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
HALAMAN MOTO	iv
HALAMAN PERNYATAAN	v
HALAMAN PEMBIMBING	vi
HALAMAN PENGESAHAN	vii
RINGKASAN	viii
SUMMARY	xi
PRAKATA	xiii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR	xviii
DAFTAR TABEL	xx
DAFTAR LAMPIRAN	xxi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Hipotesa	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Tinjauan Umum Plastik	5
2.1.1 Klasifikasi Polimer	5

2.2 Metode Injection Moulding	9
2.2.1 Pengertian <i>Injection Moulding</i>	9
2.2.2 Bagian-Bagian Mesin <i>Injection Moulding</i>	9
2.3 Parameter Proses Injection Moulding	11
2.4 Waktu Siklus	14
2.5 Cacat	16
2.6 Proses Pembuatan Produk Tutup Botol 500 ml	17
2.7 Desain Eksperimen	19
2.7.1 Prinsip Dasar Desain Eksperimen	32
2.7.2 Metode <i>Response Surface</i>	20
2.7.3 Pemeriksaan Asumsi Residual	22
2.7.4 Pengujian Kesesuaian Model	24
BAB 3 METODE PENELITIAN	26
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	26
3.2 Alat dan Bahan Penelitian	26
3.3.1 Alat	26
3.3.2 Bahan.....	28
3.3 Tahap Identifikasi Masalah	28
3.4 Tahap Pengumpulan dan Pengolahan Data	31
3.5 Tahap Penarikan Kesimpulan	35
3.6 Diagram alir Penelitian	35
3.7 Time Scedule	37
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	38
4.1 Data Penelitian	38
4.2 Analisis Data Cycle Time	39
4.2.1 Pengujian Residual	40
4.2.2 Pembentukan Model.....	42

4.2.3 Pengujian Kesesuaian Model	43
4.2.4 Analisis <i>Contour</i> dan <i>Surface Plot</i>	45
4.2 Analisis Data Netto	48
4.2.1 Pengujian Residual	49
4.2.2 Pembentukan Model	51
4.2.3 Pengujian Kesesuaian Model	52
4.2.4 Analisis <i>Contour</i> dan <i>Surface Plot</i>	54
4.2 Analisis Data Reject	58
4.2.1 Pengujian Residual	59
4.2.2 Pembentukan Model	60
4.2.3 Pengujian Kesesuaian Model	62
4.2.4 Analisis <i>Contour</i> dan <i>Surface Plot</i>	63
4.5 Optimasi Respon	67
4.6 Pembahasan	68
4.7 Perbandingan Setting	71
BAB 5 PENUTUP	73
5.1 Kesimpulan	73
5.2 Saran	74
DAFTAR PUSTAKA	75
LAMPIRAN	77

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Klasifikasi Plastik	6
2.2 Massa Jenis Material Plastik	8
2.3 Mekanisme Mesin <i>Injection Moulding</i>	9
2.4 <i>Cycle time Injection Moulding</i>	14
2.5 Produk Tutup Botol 500 ml.....	18
2.6 Dimensi Produk Tutup Botol 500 ml.....	18
3.1 Mesin Arburg 420 C 100 ton	27
3.2 Alat Timbang	27
3.3 (a) Material <i>Polypropilane</i> (b) Material <i>Afval</i>	28
3.4 Representasi <i>Box-Behnken Design</i>	33
3.5 Diagram Alir Penelitian	36
4.1 Plot Residual <i>Versus Fit Value</i> Untuk <i>Cycle Time</i>	40
4.2 <i>Plot Probability</i> Untuk <i>Cycle Time</i>	41
4.3 (a) <i>Contour plot</i> dan (b) <i>surface plot nozzle temperature</i> dan <i>cooling time</i> terhadap <i>cycle time</i> pada <i>inject pressure</i> 1420 bar	46
4.4 (a) <i>Contour plot</i> dan (b) <i>surface plot inject pressure</i> dan <i>cooling time</i> terhadap <i>cycle time</i> pada <i>nozzle temperature</i> 255°C	47
4.5 (a) <i>Contour plot</i> dan (b) <i>surface plot nozzle temperature</i> dan <i>nozzle temperature</i> terhadap <i>cycle time</i> pada <i>cooling time</i> 13 detik	48
4.6 Plot Residual <i>Versus Fit Value</i> Untuk <i>Netto</i>	50
4.7 <i>Plot Probability</i> Untuk <i>Netto</i>	51
4.8 (a) <i>Contour plot</i> dan (b) <i>surface plot nozzle temperature</i> dan <i>cooling time</i> terhadap <i>Netto</i> pada <i>inject pressure</i> 1420 bar.....	55
4.9 (a) <i>Contour plot</i> dan (b) <i>surface plot inject pressure</i> dan <i>cooling time</i> terhadap <i>Netto</i> pada <i>nozzle temperature</i> 255°C	56

4.10	(a) <i>Contour plot</i> dan (b) <i>surface plot nozzle temperature</i> dan <i>nozzle temperature</i> terhadap <i>Reject</i> pada <i>cooling time</i> 13 detik.....	57
4.11	Plot <i>Residual Versus Fit Value</i> Untuk <i>Reject</i>	59
4.12	<i>Plot Probability</i> Untuk <i>Reject</i>	60
4.13	(a) <i>Contour plot</i> dan (b) <i>surface plot nozzle temperature</i> dan <i>cooling time</i> terhadap <i>Reject</i> pada <i>inject pressure</i> 1420 bar	64
4.14	(a) <i>Contour plot</i> dan (b) <i>surface plot inject pressure</i> dan <i>cooling time</i> terhadap <i>Reject</i> pada <i>nozzle temperature</i> 255°C	65
4.15	(a) <i>Contour plot</i> dan (b) <i>surface plot nozzle temperature</i> dan <i>nozzle temperature</i> terhadap <i>Reject</i> pada <i>cooling time</i> 13 detik.....	66
4.16	Grafik Kombinasi Variabel-variabel Proses Yang Menghasilkan respon Optimum.....	68

DAFTAR TABEL

	Halaman
2.1 Titik leleh termoplast	7
2.2 Perbandingan Spesific grafity material plastik	8
2.3 Tabel CCD(Central Composite Design)	20
2.4 Rancangan Percobaan Box-Behken Design dengan k=3	21
3.1 Level yang digunakan	31
3.2 Rancangan Percobaan dengan Box-Behnken Design	34
3.3 Time Scedule Penelitian	37
4.1 Data Hasil Percobaan	38
4.2 Hasil Percobaan Cycle Time	39
4.3 Koefisien Regresi Penduga Untuk Cycle Time	42
4.4 Analysis of Variance Untuk Cycle Time	44
4.5 Hasil Percobaan Netto	49
4.6 Koefisien Regresi Penduga Untuk Netto	51
4.7 Analysis of Variance Untuk Netto	53
4.8 Hasil Percobaan Reject	58
4.9 Koefisien Regresi Penduga Untuk Reject	61
4.10 Analysis of Variance Untuk Reject	62
4.11 Global Solution dari Pendekatan Fungsi Desirability Untuk Cycle Time, Netto dan Presentase Reject	68
4.12 Kombinasi Variabel Proses yang Menghasilkan Respon Optimum	69
4.13 Perbandingan Setting Standar Pabrik dengan Setting Hasil Penelitian	69

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
A. Data Hasil Penelitian.....	76
B. Analisa <i>Response Surface</i> Untuk <i>Cycle Time</i>	80
C. Analisa <i>Response Surface</i> Untuk <i>Netto</i>	81
D. Analisa <i>Response Surface</i> Untuk <i>Reject</i>	82
E. Produk.....	83
F. Protokol Produksi	85
G. Lembar Kerja.....	86

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Plastik merupakan bahan atau material yang tidak dapat dipisahkan dari kehidupan manusia karena mudah di dapat, praktis, ringan dan tentunya modern. Hampir di segala bidang kita akan selalu menjumpai barang-barang yang terbuat dari bahan plastik, seperti bahan pembungkus atau kemasan baik untuk makanan atau minuman, alat-alat rumah tangga, elektronik dan masih banyak lagi. Hal ini dikarenakan bahan plastik memiliki sifat-sifat seperti ringan dan mudah dibentuk serta memiliki sifat-sifat yang diinginkan dengan *energy* dan kerja yang minimum. Dalam memproduksi barang-barang menggunakan bahan plastic ada beberapa metode yang lazim digunakan seperti *blow moulding*, *compression moulding*, *extrusion moulding*, *transfer moulding* dan *injection moulding*.

Injection moulding adalah salah satu operasi yang paling umum dan serba guna untuk produksi massal pada komponen plastik yang kompleks. *Injection moulding* merupakan suatu proses pembentukan plastik kedalam bentuk yang diinginkan dengan cara menekan plastik cair kedalam sebuah ruang (*cavity*). (Moerbani,1999). *Injection moulding* memiliki beberapa langkah proses, yaitu mulai dari memasukkan biji plastik kedalam *hopper*, kemudian biji plastik masuk kedalam *barel*/pemanas yang menjadikan material plastik meleleh. Material plastik leleh didorong oleh putaran *screw*, sehingga mengalir ke *nozzle*, lalu menuju *sprue*, *runner*, *gate* dan masuk ke dalam *cavity*. Kemudian material yang ada didalam *cavity* akan ditahan didalam *mould* di bawah tekanan tertentu (*holding pressure*) untuk menjaga tidak ada *shrinkage* saat produk mengalami proses pendinginan (*cooling*) (Abdurokhman, 2012).

PT. Berlina Tbk merupakan perusahaan yang memproduksi komponen komponen dan peralatan yang terbuat dari plastik. Salah satu mesinnya adalah ARB 100 yang merupakan salah satu mesin *injection moulding* yang memproduksi tutup botol 500 ml. Dalam memproduksi tutup botol ini, *cycle time* PT. Berlina Tbk telah mencapai diatas standart yaitu 30 detik, karena *cycle time*

dari perhitungan engineering (Divisi Desain *Mould*) adalah 28 detik. Ini merupakan pencapaian nilai yang tidak optimal dan cukup merugikan perusahaan karena dengan semakin lama *cycle time* produksi maka akan menambah waktu produksi. Nilai *cycle time* ini didapat dari beberapa *trial* manual yang dilakukan oleh PT. Berlina. *Cycle time* atau waktu siklus adalah waktu yang dibutuhkan mesin untuk memproduksi suatu produk. Besar kecilnya *cycle time* dapat dipengaruhi beberapa faktor : antara lain kesalahan desain *mould* dan kesalahan operasi akibat dari parameter proses *injection* kurang sesuai. Dalam penelitian ini akan dilakukan analisis dan evaluasi terhadap parameter-parameter (variabel faktor) *injection* tersebut, dengan harapan dapat mempercepat *cycle time* tanpa mengurangi kualitas produk dengan menggunakan metode statistik *response surface*.

Metode *response surface* adalah metode statistik dan matematika yang digunakan untuk melihat hubungan antara satu atau lebih variabel berbentuk kualitatif dengan variabel respon yang bertujuan untuk mengoptimalkan dan mengembangkan respon dalam suatu percobaan (Montgomery, 1997). Penerapan metode *response surface* ini sangat penting bagi bidang rancangan, pengembangan, analisa dan perumusan produk baru maupun yang telah ada.

Terdapat beberapa penelitian sebelumnya mengenai optimasi waktu siklus *injection moulding*, antara lain: *Optimizing cycle time of dvd-r injection moulding machine*, dari penelitian ini ada 6 variabel faktor penting yang mempegaruhi waktu siklus mesin *injection moulding*, yaitu : *injection time*, *injection speed*, *hold on time*, *holding pressure*, *cooling time*, *eject time*, dan *robot take out time* (Chauhan, 2012). Dan *analisis parameter injection moulding terhadap waktu siklus tutup botol 500 ml menggunakan desain box-behnken*, dari penelitian ini variabel yang paling berpengaruh terhadap *cycle time* adalah *cooling time*, sedangkan yang berpengaruh terhadap *netto* adalah *injectioning pressure* dan *holding pressure* (Sulistyanto, 2017).

Dari hasil pengamatan dan studi literatur penelitian penelitian terdahulu, maka akan dilakukan analisis parameter proses *injection moulding* (*nozzle temperature*, *inject pressure*, *colling time*) terhadap *cycle time*, berat *netto* dan

prosentase reject, sehingga penelitian tentang “Optimasi Produksi Tutup Botol 500 ml Pada Proses *Injection moulding* Menggunakan Metode *Response Surface*” ini bisa mengevaluasi dan memberikan usulan untuk mengoptimalkan *cycle time* dan menurunkan tingkat *reject* produk tutup botol 500 ml.

1.2 Perumusan Masalah

Dalam Penelitian ini akan dilakukan optimalisasi proses pembuatan kemasan produk tutup botol 500 ml pada proses *injection moulding* dengan menggunakan metode *response surface*.

Adapun perumusannya yaitu :

Bagaimana menentukan *cycle time* dan *prosentase reject* yang optimal pada proses pembuatan produk tutup botol 500 ml dengan teori perhitungan metode *response surface*.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Tidak membahas proses kimia material plastik
2. Pada pengambilan data , mesin dan alat yang digunakan telah terkalibrasi.
3. Analisa hasil penelitian menggunakan software minitab 16

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

Menentukan *cycle time* dan *prosentase reject* yang optimal pada proses pembuatan produk tutup botol 500 ml dengan teori perhitungan metode *response surface*.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun Manfaat yang dapat diambil dari penelitian ini adalah :

1. Dapat menentukan *cycle time* dan *prosentase reject* yang optimal
2. Meningkatkan produksi tutup botol 500 ml
3. Mengetahui penerapan metode *response surface* pada optimalisasi produk

1.6 Hipotesa

Hipotesa awal dalam penelitian ini adalah kombinasi *inject pressure* dan *nozzle temperature* yang tinggi serta *cooling time* yang rendah akan menghasilkan *cycle time* yang optimal dengan nilai *netto* yang dihasilkan lebih kecil dan cacat produk berkurang. Hal tersebut disebabkan nilai *cooling time* yang rendah akan mempercepat *cycle time*, sedangkan nilai *inject pressure* dan *nozzle temperature* yang tinggi akan membuat *mould* terisi penuh dengan plastik sehingga kemungkinan cacat akan berkurang, *netto* produk juga akan minim karena bahan plastik mengisi total pada *mould* .

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum Plastik

Istilah plastik mencakup produk polimerisasi sintetik atau semi-sintetik. Mereka terbentuk dari kondensasi organik atau penambahan polimer dan bisa juga terdiri dari zat lain untuk meningkatkan performa atau ekonomi. Ada beberapa polimer alami yang termasuk plastik. Plastik dapat dibentuk menjadi *film* atau *fiber* sintetik. Nama ini berasal dari fakta bahwa banyak dari mereka "*malleable*", memiliki properti keplastikan. Plastik didesain dengan variasi yang sangat banyak dalam properti yang dapat menoleransi panas, keras dan lain-lain. Digabungkan dengan kemampuan adaptasinya, komposisi yang umum dan beratnya yang ringan memastikan plastik digunakan hampir di seluruh bidang industri. (Ahvenainen, 2003).

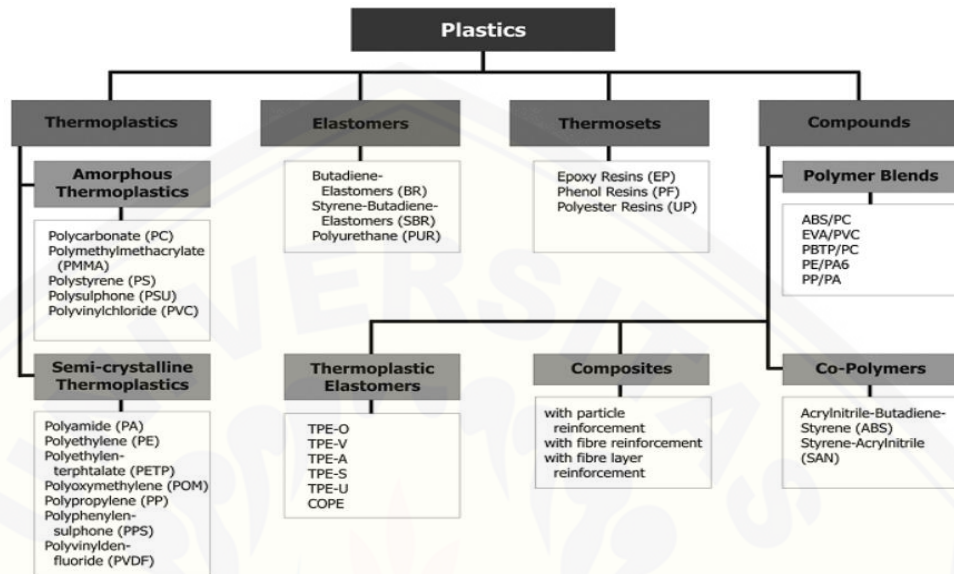
Secara garis besar, plastik dapat dikelompokkan menjadi dua golongan, yaitu plastik *thermoplast* dan plastik *thermoset*. Plastik *thermoplast* adalah plastik yang dapat dicetak berulang-ulang dengan adanya panas. Yang termasuk plastik *thermoplast* antara lain: PE, PP, PS, ABS, SAN, *nylon*, PET, BPT, *Polyacetal*(POM), PC dll. Sedangkan plastik *thermoset* adalah plastik yang apabila telah mengalami kondisi tertentu tidak dapat dicetak kembali karena bangun polimernya berbentuk jaringan tiga dimensi .Yang termasuk plastik *thermoset* adalah : PU(*Poly Urethane*), UF(*Urea Formaldehyde*), MF(*Melamine Formaldehyde*), *polyester*, *epoksi* dll. (Ronald, 1986).

2.1.1 Klasifikasi Polimer

Klasifikasi polimer berdasarkan material rekayasa adalah polimer *thermoset*, *termoplastic*, *elastomer*, dan *compounds*. Plastik yang biasa digunakan dalam kehidupan sehari-hari adalah *thermoplastic* dan *thermoset*, sedangkan *elastomer* dikenal dengan nama karet (Oktaviandi, 2012).

Termoplastic adalah material yang mudah sekali melunak jika terkena panas pada suhu yang tidak terlalu tinggi, dan masih dibawah logam titik cairnya. Setelah melunak, plastik akan mencair lama kelamaan dan ketika dingin akan

mengeras. Maka dari itu material *thermoplastic* mudah sekali dibentuk dan ekonomis. Contoh *termoplastic* yaitu : *polietilen (PE)*, *polivinil klorida (PVC)*, *polipropilen (PP)*, *polistiren (PS)*, dan *nilon*.



Gambar 2.1 Klasifikasi plastik (Klein, dalam Ihsan, 2015)

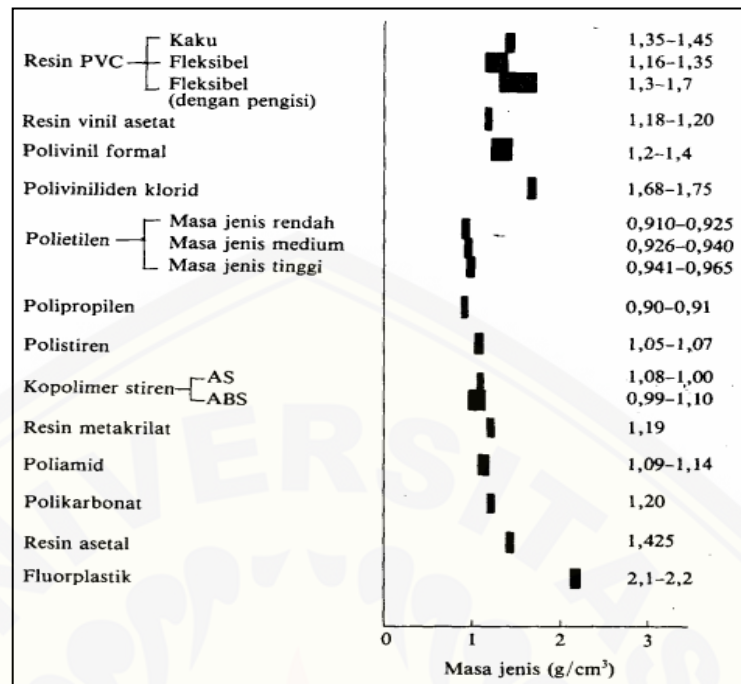
Thermoplastic digolongkan menjadi dua. Pertama adalah *thermoplastic* yang berstruktur gelas (*amorf*). Jenis ini memiliki suhu transisi (T^g), jika berada di atas suhu transisi polimer bersifat ulet menyerupai karet/*elastomer*, namun jika berada dibawah suhu transisinya polimer bersifat keras dan getas. *Thermoplastic* ini dapat dibuat produk dengan tingkat kejernihan tertentu dan jenis ini memiliki ketahanan kimia yang lemah (dapat mengalami retak tegang). Jenis kedua yaitu memiliki struktur semi kristalin, yang mana rantai-rantai penyusunnya tersusun teratur dalam tingkatan tertentu (menyerupai struktur kristal logam). Apabila tingkat kristalinitasnya lebih besar dari panjang gelombang cahaya, maka polimer ini tidak dapat ditembus oleh cahaya atau memiliki nilai kekeruhan yang tinggi (Oktaviandi, 2012). Berikut merupakan tabel titik leleh pada bahan *termoplast*.

Tabel 2.1 Titik leleh *termoplast* (Kristiyantoro, 2009)

Material	°C	°F
<i>Polyethylene - low density (LDPE)</i>	149-232	300-450
<i>Polyethylene – high density (HDPE)</i>	177-260	350-500
<i>Polypropylene (PP)</i>	190-288	374-550
<i>Acrylonitrile butadiene styrene (ABS)</i>	117-260	350-500
<i>Nylon</i>	260-327	500-620
<i>Polyethylene terephthalate (PET)</i>	227-349	440-660
<i>Polycarbonate (PC)</i>	271-300	520-572
<i>Polyphenylene oxide (PPO)</i>	204-354	400-670

2.1.2 Polypropylene (PP)

Material baku *polypropylene*(PP) didapatkan dari penguraian *petroleum* (*naftan*) dengan cara memberi *hydrogen gas petroleum* pada pemecahan minyak dan gas alam. Prosesnya serupa dengan metode tekanan rendah untuk *polyethylene*(PE), mempergunakan katalis *Zieger-Natta*, *polypropylene*(PP) dengan keteraturan ruang dapat diperoleh dari *prophylene*. Sifat-sifat *polypropylene*(PP) serupa dengan sifat-sifat *polyethylene*(PE) dimana masa jenisnya rendah (0,90-0,92), termasuk kelompok yang paling ringan diantara bahan polimer, dan dapat terbakar kalau dinyalakan. Bila dibandingkan dengan *polyethylene*(PE) masa jenis rendah dan suhu cairnya tinggi, kekuatan tarik, kekuatan lentur dan kekakuannya lebih tinggi, tetapi ketahanan impaknya rendah terutama pada *nozzle temperature* rendah (Amri, 2009).



Gambar 2.2 Massa jenis material plastik (Saito, 1999)

Polypropylene merupakan polimer kristalin yang dihasilkan dari proses polimerisasi gas *propilena*. *Propilena* mempunyai *specific gravity* rendah dibanding dengan jenis plastik lain (Ronald, 1986). Sebagai perbandingannya terlihat pada tabel 2.2 berikut .

Tabel 2.2 Perbandingan *Specific gravity* material plastik (Ronald, 1986).

Material	<i>Specific gravity</i>
<i>Polyethylene - low density (LDPE)</i>	0,91-0,93
<i>Polyethylene - high density (HDPE)</i>	0,93-0,96
<i>Polypropylene (PP)</i>	0,85-0,90
<i>Acrylonitrile butadiene styrene (ABS)</i>	0,99-1,10
<i>Nylon</i>	1,09-1,14
<i>Polystirena</i>	1,05-1,08
<i>Polyasetat</i>	1,38
<i>PVC</i>	1,15-1,65
<i>Asetil selulosa</i>	1,23-1,34

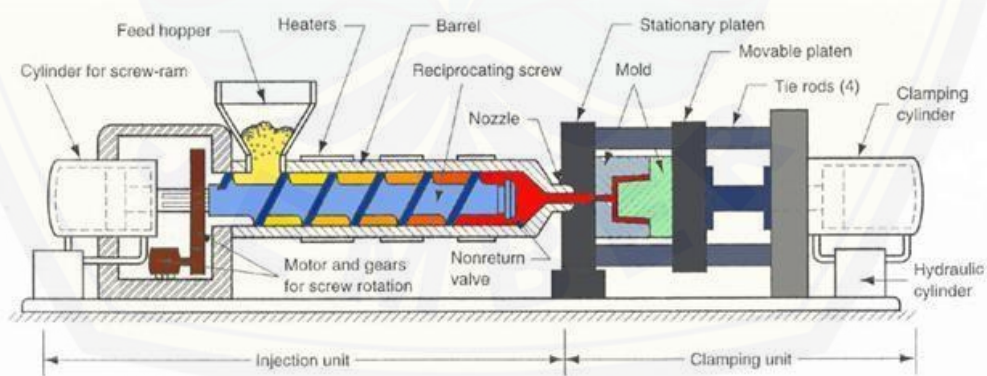
2.2 Metode *Injection moulding*

2.2.1 Pengertian *Injection moulding*

Injection moulding adalah metode pembentukan material *thermoplastic* di mana material yang meleleh karena pemanasan diinjeksikan oleh *plunger* ke dalam cetakan yang didinginkan oleh air sehingga mengeras. Proses *injection moulding* merupakan proses pembentukan benda kerja dari material *compound* berbentuk butiran yang ditempatkan ke dalam suatu *hopper*/torong dan masuk ke dalam silinder *injection* yang kemudian didorong melalui *nozle* dan *sprue bushing* ke dalam rongga (*cavity*) dari *mould* yang sudah tertutup. Setelah beberapa saat didinginkan, *mould* akan dibuka dan benda jadi akan dikeluarkan dengan *ejector*. Material yang sangat sesuai adalah material *thermoplastic* dan karena pemanasan material ini akan melunak dan sebaliknya akan mengeras lagi bila didinginkan. Perubahan-perubahan ini hanya bersifat fisik, jadi bukan perubahan kimiawi sehingga memungkinkan untuk mendaur ulang material sesuai dengan kebutuhan. (Jamaludin, 2007).

2.2.2 Bagian-Bagian Mesin *Injection moulding*

Secara umum mesin *injection moulding* terdiri dari beberapa bagian unit dan sistem (Jamaludin, 2007), antara lain :



Gambar 2.3 Mekanisme mesin *injection moulding* (Jamaludin, 2007)

a. *Clamping*

Clamping unit terdiri dari :

1. *Stationary plate* : adalah plat tempat untuk pemasangan *mould* bagian *cavity* atau bagian cewek *mould* (bahasa lapangan). Pada bagian atas *stationary plate* ini terdapat tempat dududukan untuk robot. *plate* ini mempunyai lubang lingkaran untuk *location ring* dan diameter lubang tersebut biasanya ada standar ukuran. Biasanya 100 mm, 110mm, 150mm, 300mm. Fungsi dari *locating ring* pada *mould* adalah untuk memudahkan pemasangan *mould* agar *center* dengan lubang *nozle*.
2. *Moving plate* adalah plat tempat untuk pemasangan *mould* bagian *core*. Disebut *Moving plate* karena *plate* tersebut dapat bergerak menutup atau membuka dan kecepatan serta pressurenya dapat kita atur sesuai dengan kebutuhan .
3. *Ejector* terdapat pada bagian belakang *Moving plate* yang berfungsi untuk mengeluarkan produk pada cetakan atau *mould*.
4. *Operation side door* dan *non operation side door* adalah bagian *clamping unit* yang berfungsi sebagai pintu penutup area *block clamping* agar mesin dapat beroperasi dengan aman. Pada pintu ini biasanya terdapat pengaman. Ada dua jenis pengaman yaitu pengaman secara hidrolis dan elektrik . Fungsi pengaman ini yang utama adalah untuk memastikan keamanan operator pada saat bekerja.
5. *Lubrication pump* adalah alat yang berfungsi memberikan pelumasan pada bagian-bagian mesin yang bergerak, letaknya biasanya berada pada bagian bawah depan mesin. Alat ini digerakan secara manual dan otomatis.

b. *Injection Unit*

1. *Cylinder barrel* adalah silinder atau tabung yang berfungsi sebagai tempat material plastik yang sudah cair. Silinder ini dibungkus dengan elemen pemanas atau heater band. fungsi dari *heater band* ini adalah sebagai pemanas material yang berada dalam *barrel*. *Nozzle temperature* pemanas ini

dapat kita atur *nozzle temperature*nya sesuai dengan *melting point* material yang akan kita pergunakan.

2. *Screw* berada didalam *barrel* yang berfungsi sebagai pengisi material dan mengaduk material yang telah telah mencair sehingga campuran material dan pewarna atau *pigment* lebih homogen. Pada bagian ujung *screw* terdapat kepala *screw* dan *check ring screw*. Fungsinya adalah mendorong material yang akan kita masukan kedalam *mould* atau cetakan. Cara kerjanya adalah pada waktu *screw* bergerak maju atau posisi *inject* maka *ring* akan menutup sehingga material yang berada di depan *screw* akan terdorong maju dan material tidak balik kedalam *screw*. Pada waktu *screw* berputar atau *charging* maka *ring* akan terbuka dan mengisi ruangan yang berada pada depan *screw*.
 3. *Hidrolic pump* berada pada bagian bawah *injection* unit. Fungsi *hidrolic pump* adalah untuk memompa oli pada tekanan tertentu. Tekanan pompa oli ini maksimal adalah 145 kg/cm^2 . Oli yang bertekanan ini digunakan untuk menggerakkan mesin *injection* agar dapat beroperasi.
 4. *Hopper / hopper dryer* adalah tempat material plastik di tampung.
- c. *Runner dan Gate System*
- Merupakan bagian tempat jalannya bijih plastik untuk menuju *mould* dan mengalami proses *injektion*.
- d. *Control panel*
- Control panel* adalah tempat tombol untuk mengoperasikan mesin *injection*.

2.3 Parameter Proses *Injection moulding*

Untuk memperoleh benda cetak dengan kualitas hasil yang optimal, perlu mengatur beberapa parameter yang mempengaruhi jalannya proses produksi tersebut. Parameter-parameter suatu proses tentu saja ada yang berperan sedikit dan adapula yang mempunyai peran signifikan dalam hasil produksi yang diinginkan. Biasanya orang perlu melakukan beberapa kali percobaan hingga ditemukan parameter-parameter apa saja yang cukup berpengaruh terhadap produk akhir benda cetak.

Adapun parameter-parameter yang berpengaruh terhadap proses produksi plastik melalui metode *injection moulding* adalah:

a. *Nozzle temperature* Leleh (*Melt Nozzle temperature*)

Adalah batas *nozzle temperature* dimana bahan plastik mulai meleleh kalau diberikan energi panas. Pada pelelehan plastik ini perlu diperhatikan jenis material plastik yang dilelehkan, karakteristik mesin cetakan, *shot size* (berat material dalam sekali *injection*) yang akan diekstrusikan. Pada umumnya, *nozzle temperature* material plastik yang terjadi saat *injection* lebih rendah 10°C-20°C dari *nozzle temperature* pada *nozzle* mesin *injection*.

b. Tekanan (*Injection pressure*)

Adalah tekanan yang diberikan untuk menginjeksikan plastik leleh ke dalam *mould*, dari *barrel* menuju *nozzle*, kemudian *sprue*, *runner*, *gate*, dan rongga cetakan (*cavity*). Tekanan *injection* yang diberikan kesetiap produk berbeda beda tergantung ukuran dan tingkat kerumitan bentuk rongga *cavity*-nya. Tekanan *injection* akan menentukan meratanya cairan plastik kedalam *cavity*, bila terlalu besar akan timbul *flash* dan jika terlalu kecil maka sudut-sudut *cavity* berkemungkinan tidak dapat dijangkau oleh cairan plastik.

c. Kecepatan *injection* (*injection rate/speed*)

Yaitu kecepatan lajunya material plastik yang telah meleleh keluar dari *nozzle* untuk mengisi rongga cetak/*cavity*. Untuk mesin-mesin *injection* tertentu kecepatan ini dapat terukur, tetapi untuk mesin-mesin *injection* sederhana kadang-kadang tidak dilengkapi dengan pengukur kecepatan ini.

d. Waktu Tahan (*Holding Time*)

Adalah waktu yang diukur dari saat *nozzle temperature* leleh yang di-*set* telah tercapai hingga keseluruhan bahan plastik yang ada dalam tabung pemanas benar-benar telah meleleh semuanya. Hal ini dikarenakan sifat rambatan panas yang memerlukan waktu untuk merambat ke seluruh bagian yang ingin dipanaskan. Dikhawatirkan jika waktu tahan ini terlalu cepat maka sebagian bahan plastik dalam tabung pemanas belum meleleh semuanya, sehingga akan mempersulit jalannya aliran bahan plastik dari dalam *nozzle*.

e. Tekanan Tahan (*Holding Pressure*)

Tekanan tahan (*holding pressure*) diberikan saat akhir langkah *injection* dan digunakan untuk akhir 5% pengisian dari bentuk *cavity*. Tekanan ini dinamakan tekanan tahan (*holding pressure*) karena berfungsi untuk menahan tekanan selama proses pendinginan plastik agar memenuhi profil *cavity* sampai plastik membeku. Hal ini membantu untuk memastikan pengisian pada bagian yang menyempit, pencetakan dengan tekanan seragam/merata, dan mengendalikan penyusutan (*shrinkage*). Tekanan tahan biasanya sebesar 50% dari tekanan *injection*. Sehingga bila diperlukan tekanan *injection* sebesar 10.000 psi (703,1 kg/cm²), tekanan tahan haruslah mendekati nilai 5000 psi (351,5 kg/cm²).

f. Waktu tahan (*holding time*)

Adalah waktu yang diukur dari saat awal pelelehan plastik hingga keseluruhan bahan plastik yang ada dalam tabung pemanas benar-benar telah mencair keseluruhannya. Hal ini dikarenakan sifat rambatan panas yang memerlukan waktu untuk merambat ke seluruh bagian yang ingin dipanaskan. Dikhawatirkan jika waktu tahan ini terlalu cepat maka sebagian bahan plastik dalam tabung pemanas belum meleleh semuanya, sehingga akan mempersulit jalannya aliran bahan plastik dari dalam *nozzle* dan akan menghambat proses produksi

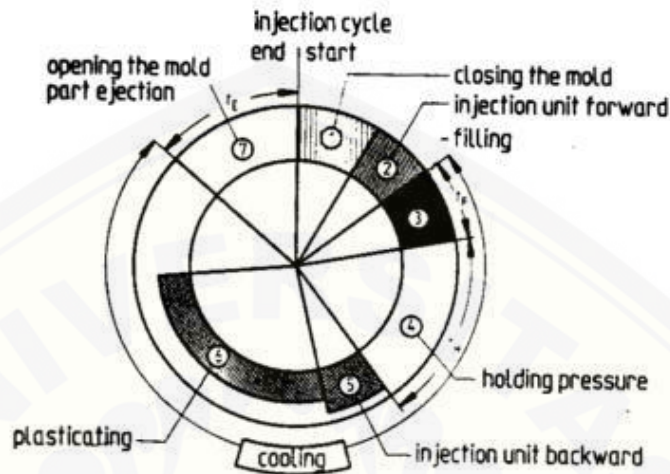
g. *Nozzle temperature* Cetakan (*Mould Nozzle temperature*)

Yaitu *nozzle temperature* awal cetakan sebelum dituangi bahan plastik yang meleleh. Pengaturan *nozzle temperature* ini melalui cairan yang dialirkan kedalam cetakan. *Nozzle temperature* cairan dan *nozzle temperature* permukaan *mould* akan terdapat perbedaan maka agar hasil produk lebih baik seharusnya kedua *nozzle temperature* tersebut perlu untuk dikontrol.

2.4 Waktu Siklus

Waktu siklus adalah waktu yang dibutuhkan oleh suatu mesin untuk membuat suatu produk. Satu waktu siklus *injection molding*, diawali dengan *closing the mold*, kemudian diikuti dengan fasa *injection process*, *cooling time*, *holding pressure time*, *screw forward*, *opening the mold*, *ejection* dan diakhiri

dengan phasa *closing the mold*, seperti yang diperlihatkan gambar 2.7. Waktu siklus dalam penelitian ini dihitung mulai dari penutupan mold sampai dengan pembukaan mold (Marwanto, dalam Nicolaus, 2017).



Gambar 2.4 *Cycle time injection moulding* (Marwanto, dalam Nicolaus, 2017)

Siklus *injection moulding* diawali dengan gerakan maju dari *screw* untuk mengalirkan material meleleh dari *barrel* melalui *nozzle* kedalam *mold*. Volume material yang dipindahkan kedalam *mold* disebut dengan *shot*. Kemudian masuk kedalam tahap satu siklus mesin.

Tahap satu, tahap injeksi (*Injection*) ditandai dengan kenaikan tekanan secara perlahan. Segera setelah *cavity* terisi penuh, tekananpun akan naik dengan cepat dan terjadilah pemampatan. Selama pemampatan aliran material masih terus terjadi, walau dengan debit yang rendah. Waktu pemampatan disesuaikan dengan material plastik yang diproses. Setelah pemampatan berakhir, *screw* ditarik kembali dan tekanan di dalam *mold* mulai berkurang. Pada tahap inilah material dimasukkan kedalam *barrel* sebagai persiapan siklus berikutnya. Tahap kedua, tahap pendinginan (*cooling* atau *freezing*) ini bermula saat pengisian *mold* berlangsung dengan cepat kemudian berlanjut sampai pemampatan dan diakhiri dengan penarikan *screw* yang menyebabkan tekanan pada *mold* tidak ada. Penurunan tekanan tersebut dapat mengakibatkan aliran balik sampai material sekitar *gate* menjadi padat.

Tahap ketiga, tahap *resetting* ini produk dikeluarkan dengan bantuan dari *ejector*. Setelah itu, *mold* kembali menutup untuk mempersiapkan siklus yang berikutnya. Dibawah ini diperlihatkan kurva tekan terhadap waktu selama satu siklus injeksi.

Pengurangan waktu siklus adalah Pendekatan tercepat dan paling ampuh untuk peningkatan profitabilitas, terutama bagi perusahaan yang telah menyadari sebagian besar peluang inti mereka adalah kemajuan efisiensi proses manufaktur produknya. Pengurangan waktu siklus akan langsung berdampak hampir setiap biaya pengeluaran proses produksi. Faktor yang mempengaruhi *injection molding* waktu siklus mesin adalah (Chauhan, 2012) :

- *Injection pressure*
- *Injection speed*
- *Holding time*
- *Holding pressure*
- *Cooling time*
- *Ejection time*
- *Robot take out time*

Menurut Chauhan (2012), dalam penelitiannya yang berjudul *Optimizing cycle time of dvd-r Injection moulding machine* yang bertujuan untuk optimalisasi *cycle time*, menyimpulkan bahwa *cooling time*, *holding time*, dan *robot take out time* adalah parameter yang efektif untuk mengurangi waktu siklus mesin DVD molding hingga 2.70 sec. Sedangkan menurut Lahoti et al (2014), dalam penelitiannya yang berjudul *Optimization of critical processing parameters for plastic injection molding for enhance productivity and reduced time for development*, menyimpulkan bahwa hasil analisis anova, parameter yang paling efektif terhadap waktu siklus adalah suhu mencair dan tekanan injeksi, dengan variasi kecil akan mempengaruhi besar pada proses. *Melt nozzle temperature* dan *injection pressure* merupakan faktor utama (efektif) yang mempengaruhi *cycle time*, dan faktor kedua dalam kasus ini adalah *cooling time*, sedangkan faktor lainnya jauh lebih rendah pengaruhnya. Hasil dari analisis

anova juga menyebutkan bahwa tekanan injeksi meningkat, rata-rata waktu siklus juga meningkat secara signifikan.

2.5 Cacat

Dalam proses produksi plastik dengan *injection moulding* tidak sepenuhnya menghasilkan produk dengan kualitas yang sempurna. Terkadang dalam proses produksinya terdapat beberapa cacat dan akhirnya berimbas ke produk reject. Jenis cacat yang umum terjadi antara lain (Anggono, 2005):

1. *Short shot*

Short shot merupakan suatu kondisi dimana plastik leleh yang akan diinjeksikan kedalam *cavity* tidak mencapai kapasitas yang ideal sehingga plastik plastik mengeras sebelum memenuhi *cavity*.

2 *Warpage*

Warpage merupakan kondisi produk hasil cetakan melengkung umumnya disebabkan oleh ketidakrataan distribusi tekanan

3 *Flow mark*

Flow mark merupakan kondisi dimana terdapat pola bergaris disekitar gate pada saat material mengalir memasuki *cavity*

4 *Weld line*

Weld line merupakan kondisi yang digambarkan ketika dua atau lebih aliran lelehan material yang bertemu pada kedua ujung aliran fenomena ini biasanya terjadi pada saat menggunakan sisipan atau multigate.

5 *Bubbles*

Bubbles merupakan kondisi melepuh atau adanya gelembung udara yang terperangkap dalam produk. Biasanya terjadi pada saat proses *injection*.

6 *Jetting*

Jetting merupakan kondisi dimana adanya bekas aliran plastik atau semburan lelehan plastik dari gate point .

7 *Black spot*

Merupakan kondisi dimana terdapat bintik hitam pada produk hasil *injection*.

8 *Flash*

Merupakan jenis *mirror defect* artinya material masih dikatakan bagus dan memenuhi syarat produksi tetapi harus dilakukan pembersihan terhadap kelebihan material di produk.

9 *Shrinkage*

Merupakan cekungan atau lengkungan yang terjadi pada permukaan luar pada produk.

2.6 Proses Pembuatan Produk Tutup Botol 500 ml

Langkah-langkah pembuatan tutup botol 500 ml menggunakan mesin *injection moulding* adalah sebagai berikut:

a. Persiapan material plastik

Material plastik yang digunakan dalam pembuatan tutup botol 500 ml adalah *Polypropilane* (PP), dengan perbandingan komposisi antara PP murni dan *afval* adalah 3 : 1. Tujuan dari paduan ini agar lebih hemat dalam penggunaan PP murni. Setelah itu material di masukan ke dalam *hopper* untuk diproses produksi.

b. Proses Pemanasan dan pelelehan plastik

Tahap selanjutnya adalah proses pemanasan. Dalam hal ini adalah material *polypropilane* dipanaskan dengan *nozzle temperature* proses 190 – 288°C . Proses pemanasan (oleh *heater*) tersebut terjadi di dalam *barrel (extruder)* yang dilakukan secara kontinyu. *Screw* yang terdapat didalam *barrel* berputar dengan kecepatan antara 11-75 rpm, untuk mesin yang memproduksi tutup botol yaitu mesin *ARBURG 100*. Selain proses pemanasan di dalam *barrel* juga terjadi proses pemampatan dengan tujuan agar material plastik homogen oleh *screw*. Jadi fungsi *screw* disini selain mencampur juga sebagai pemampat lelehan plastik.

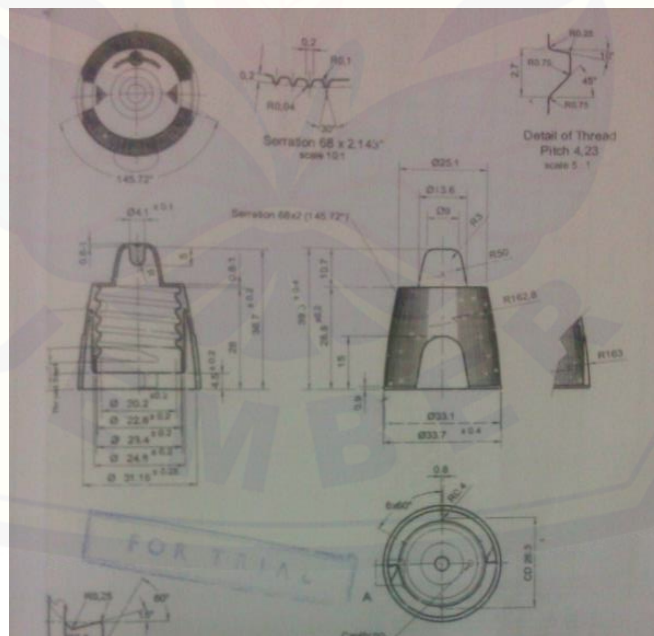
c. Proses Pembentukan Produk

Setelah plastik dilelehkan dan homogen, selanjutnya plastik cair tadi disuntikkan kedalam *cavity* hingga terisi penuh dan membentuk produk sesuai *mould* yang dipasang pada mesin. Selanjutnya produk didinginkan (*cooling*) dengan media air. Setelah itu produk dikeluarkan dari *mould* dibantu dengan

ejector. Proses ini merupakan proses pembuatan produk setengah jadi, Maksudnya produk setengah jadi adalah produk yang belum siap kirim karena harus melalui tahap proses *printing* dan pelabelan. Produk dan dimensi *tutup botol* 500 ml dapat dilihat pada Gambar 2.5 dan 2.6.



Gambar 2.5 Produk tutup botol 500 ml



Gambar 2.6 Dimensi produk tutup botol 500 ml

2.7 Desain Eksperimen

Desain eksperimen merupakan sebuah rancangan percobaan yang perlu diambil sebelum eksperimen dilakukan agar data yang diperlukan dapat dicapai sehingga membawa pada analisis objektif dan kesimpulan yang berlaku untuk suatu masalah yang sedang dibahas. Tujuan dari desain eksperimen adalah untuk mendapatkan dan mengumpulkan informasi yang diperlukan sebanyak-banyaknya dan berguna dalam melakukan penelitian (Sudjana, 1994).

2.7.1 Prinsip Dasar Desain Eksperimen

Untuk memahami desain eksperimen maka diperlukan pemahaman terhadap prinsip dasar dari desain eksperimen itu sendiri. Prinsip dasar yang lazim digunakan adalah replikasi, pengacakan dan kontrol lokal, berikut merupakan pengertian dari masing-masing prinsip tersebut (Sudjana, 1994).

a. *Replikasi*

Replikasi diartikan sebagai pengulangan eksperimen dasar, hal ini diperlukan untuk memberikan taksiran kekeliruan dari eksperimen yang dapat dan mungkin terjadi, hal ini dapat dipakai untuk menentukan panjang interval kepercayaan, menghasilkan taksiran yang lebih akurat untuk kekeliruan eksperimen dan memungkinkan untuk memperoleh taksiran yang lebih baik mengenai pengaruh rata-rata suatu faktor.

b. Pengacakan

Pengacakan dilakukan untuk membuat korelasi antar kekeliruan sekecil mungkin dan untuk menghilangkan bias. Dengan kata lain pengacakan menyebabkan pengujian menjadi berlaku dan memungkinkan data dianalisis dengan anggapan atau asumsi tentang independen telah dipenuhi.

c. Kontrol Lokal

Kontrol lokal merupakan sebagian dari keseluruhan prinsip desain yang harus dilaksanakan. Jika replikasi dan pengacakan pada dasarnya memungkinkan berlakunya uji keberartian, maka kontrol lokal menyebabkan desain yang lebih efisien, yang menghasilkan prosedur pengujian dengan kuasa lebih tinggi.

2.7.2 Metode Response surface

Metode *response surface* atau biasa disebut RSM (*response surface methodology*) adalah teknik matematika dan statistik yang berguna untuk memodelkan dan menganalisis data dimana respon yang diteliti dipengaruhi oleh beberapa variabel yang tujuannya ialah untuk mengoptimalkan respon. Kebanyakan dalam metode RSM, eksperimen dilakukan dalam dua tahap, yaitu eksperimen orde 1 (model regresi linier berganda) yang merupakan tahap penjarangan faktor dan eksperimen orde II (model regresi kuadrat berganda) yaitu tahap optimasi. Dalam penggunaan metode RSM terdapat dua desain yang dapat digunakan, yaitu (Montgomery, 1997):

1. *Central Composite design*

Merupakan desain yang direkomendasikan untuk eksperimen sekuensial atau perencanaan desain yang dilakukan secara berulang. Untuk desain dengan jumlah faktor yang sama, jumlah eksperimen yang dilaksanakan lebih banyak dibanding dengan *box-behken design*.

Tabel 2.3 Tabel CCD(*Central Composite Design*) (Faulina, 2011)

	Jumlah Variabel, k				
	2	3	4	5	6
n_f (untuk 2 atau $2^k - p$)	4	8	16	32	64
Banyaknya titik aksial = 2k	4	6	8	10	12
$\alpha=(nf)1/4$	1.414	1.682	2.000	2.378	2.828
nc	Nc	nc	nc	nc	nc
Total	8 + nc	14+ nc	24+nc	42+nc	76+nc

2. *Box-Behken Design*

Merupakan perencanaan desain yang digunakan untuk desain eksperimen yang tidak sekuensial yang hanya merencanakan untuk satu kali eksperimen. Untuk desain dengan jumlah faktor yang sama, jumlah eksperimen yang dilaksanakan lebih sedikit dibandingkan dengan *Central Composite design*.

Tabel 2.4 Rancangan Percobaan *Box-Behken* Design dengan k=3 (Kristiyantoro, 2009)

No	X1	X2	X3
1	-1	-1	0
2	1	-1	0
3	-1	1	0
4	1	1	0
5	-1	0	-1
6	1	0	-1
7	-1	0	1
8	1	0	1
9	0	-1	-1
10	0	1	-1
11	0	-1	1
12	0	1	1
13	0	0	0
14	0	0	0
15	0	0	0

Tahap pertama dalam metode permukaan respon adalah mencari fungsi antara variabel respon dan variabel bebas yang tepat. Untuk mengetahui hubungan tersebut biasanya di buat model regresi. Untuk memilih model yang paling sesuai biasanya diperiksa apakah model antar variabel adalah model linier (model orde satu) atau model polinomial. Secara umum bentuk persamaan regresi orde pertama dinyatakan sebagai berikut (Montgomery, 1997):

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k + e$$

Dimana : Y = Variabel respon

β_0 = intersep

β_i = Koefisien parameter model

X_i = Nilai koding variabel bebas

e = Residual dengan asumsi IIDN $(0, \sigma^2)$

Pendugaan untuk orde pertama adalah (Montgomery, 1997) :

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i X_i$$

Y = Nilai Pendugaan

b_0 = konstanta

b_i = taksiran parameter

X_i = variabel bebas

Sedangkan untuk persamaan model orde kedua ditunjukkan oleh persamaan berikut (Montgomery, 1997) :

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i X_i + \sum_{i=1}^k b_i X_i^2 + \sum_{i < j} b_j X_i X_j + e$$

Penduga untuk persamaan model orde kedua dinyatakan dalam persamaan berikut (Montgomery, 1997) :

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i X_i + \sum_{i=1}^k b_{ii} X_i^2 + \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k b_j X_i X_j$$

Jika $k=3$ penduga untuk model orde kedua menjadi (Montgomery, 1997) :

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + b_{11} X_1^2 + b_{22} X_2^2 + b_{33} X_3^2 + b_{12} X_1 X_2 + b_{13} X_1 X_3 + b_{23} X_2 X_3$$

Dimana:

X_i = variabel bebas, $i = 1, 2, 3, \dots, k$

b_0 = konstanta,

b_i = koefisien parameter model

2.7.3 Pemeriksaan Asumsi Residual

Residual didefinisikan sebagai selisih antara nilai pengamatan dan nilai dugaannya $e_j = Y_j - \hat{Y}_j$. Dalam analisis regresi terdapat asumsi bahwa residual bersifat bebas satu sama lain (independen) mempunyai mean nol dan varians yang konstan α^2 (identik) dan berdistribusi normal atau $e_i \sim \text{IIDN}(0, \alpha^2)$. Oleh karena itu dalam setiap pendugaan model harus dilakukan pemeriksaan asumsi apakah terpenuhi atau tidak. Untuk pemeriksaan asumsi apakah model terpenuhi

atau tidak, dibawah ini terdapat beberapa uji untuk pemeriksaan asumsi yaitu sebagai berikut (Sudjana, 1994) :

1) Uji Identik

Pengujian varian identik bertujuan untuk memenuhi apakah residual mempunyai penyebaran yang sama. Hal ini dilakukan dengan memeriksa plot e_i terhadap \hat{Y}_i (secara visual). Jika penyebaran datanya acak (menyebar disekitar garis nol) dan tidak menunjukkan pola-pola tertentu maka asumsi identik terpenuhi.

2) Uji Independen

Uji independen digunakan untuk menjamin bahwa pengamatan telah dilakukan secara acak yang berarti antar pengamatan tidak ada korelasi (independen). Pemeriksaan asumsi ini dilakukan dengan menggunakan plot ACF (*Auto Correlation Function*). Bila nilai korelasi berada dalam interval $\pm \frac{2}{\sqrt{n}}$ maka residual bersifat independen,

3) Uji Distribusi Normal

Uji distribusi Uji distridusi normal dilakukan untuk menguji apakah residual terdistribusi normal atau tidak dilakukan dengan menggunakan *normal probability plot* yang menyatakan probabilitas dari residual suatu respon. Jika plot membentuk garis lurus dari kiri bawah ke kanan atas menunjukkan residual berdistribusi normal. *Kolmogorov-smirnov normality test* merupakan salah satu pengujian kenormalan residual. Hipotesa yang digunakan adalah:

H_0 : residual berdistribusi normal

H_1 : residual tidak berdistribusi normal.

Terima H_0 apabila $P_{value} > \alpha$

2.7.4 Pengujian Kesesuaian Model

a. Koefisien Korelasi (r)

Koefisien korelasi menunjukkan kedekatan hubungan antara nilai X (prediktor) dan nilai Y (respon). Semakin mendekati angka 1 atau -1 nilai koefisien korelasinya maka semakin besar pengaruh X terhadap Y. Koefisien korelasi dilambangkan dengan r dan nilainya terletak antara $-1 < r < 1$. Jika $r < 0$

atau negatif maka semakin nilai R mendekati angka -1 semakin besar pula korelasinya. Artinya semakin besar nilai X menyebabkan nilai Y-nya semakin kecil. Sebaliknya jika nilai $r \leq 1$ atau positif maka semakin nilai r mendekati angka 1 maka korelasinya semakin besar atau semakin besar X menyebabkan semakin besar pula nilai Y. Rumus koefisien korelasi adalah:

$$r = \frac{n \sum XY - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{(n \sum X^2 - (\sum X)^2)(n \sum Y^2 - (\sum Y)^2)}}$$

b. Koefisien Determinasi (R^2)

Koefisien determinasi (R^2) adalah suatu nilai statistik yang dapat digunakan untuk mengetahui apakah ada hubungan pengaruh antara dua variabel (variable X dan Y). Nilai koefisien determinasi menunjukkan prosentase total variasi nilai variabel dependen (Y) yang dapat dijelaskan oleh persamaan regresi yang dihasilkan. Koefisien determinasi nilainya terletak antara $0 < R^2 < 1$. Semakin besar nilai R^2 semua variabel X terhadap variabel Y. Untuk mendapatkan model yang baik maka nilai R^2 diharapkan mendekati 1. Secara manual, R^2 dapat dihitung dengan rumus:

$$R^2 = \frac{JKR}{JKT} \cdot 100\% = b_1 \cdot \frac{JK_{XY}}{JK_Y} \cdot 100\%$$

c. Pengujian Adanya Penyimpangan (*Uji Lack of Fit*)

Dalam menentukan ketepatan model diperlukan uji *lack of fit*. Tujuan pengujian *lack of fit* adalah untuk mengetahui kesesuaian model yang dihasilkan. Uji ini menggunakan *mean square lack of fit* dan *mean square pure error* dengan nilai distribusi F.

Hipotesisnya:

H_0 = tidak ada *lack of fit* dalam model

H_1 = ada *lack of fit* dalam model

Uji statistik yang digunakan adalah (Montgomery, 1997) :

$$F_{rasio} = \frac{MS_{LOF}}{MS_{PE}}$$

Tolak H_0 apabila $F_{rasio} > F_{(\alpha; n-k-l-n_\epsilon; n_\epsilon)}$ yang berarti ada ketidaksesuaian (*lack of fit*) antara model yang diduga dengan model sebenarnya.

d. Pengujian Parameter serentak

Hipotesis yang digunakan dalam pengujian parameter regresi secara serentak ialah sebagai berikut (Montgomery, 1997) :

$$H_0 : b_1 = b_2 = \dots = b_k = 0$$

$$H_1 : \text{minimal ada satu } b_j \neq 0; j = 1, 2, \dots, k$$

Uji statistik yang digunakan (Montgomery, 1997)

$$F_{hitung} = \frac{MS_R}{MS_E} = \frac{SS_R/k}{SS_E/(N - 1 - k)}$$

Daerah penolakan yaitu tolak H_0 pada tingkat signifikansi α apabila $F_{hitung} > F_{(\alpha; k; n-1-k)}$ yang berarti secara statistik variabel-variabelnya bebas terhadap perubahan variabel respon Y dalam model . Hipotesanya ialah sebagai berikut:

$$H_0 : b_i = 0$$

$$H_1 : b_1 \neq 0$$

Satistik Uji:

$$t = \frac{b_1}{s(b_1)} \text{ dengan } b_1 \text{ adalah taksiran } \beta_1 \text{ dan } s(b_1) = \sqrt{\frac{a^2}{\sum_{i=1}^n (x_1 - \bar{x})^2}}$$

Penolakan hipotesis dilakukan jika $|t_{hit}| > t_{n-k-1; \alpha/2}$

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di PT. Berlina Tbk yang beralamat di Jl Pandaan – Malang KM 43 Kecamatan Pandaan Kabupaten Pasuruan Jawa Timur. Waktu penelitian ini dijadwalkan dari bulan maret 2017.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

a. Mesin *Injection moulding* dengan spesifikasi sebagai berikut :

- Model : Arburg 420 C 100 ton
- Tahun pembuatan : 2005
- Sistem pressure : 160 bar
- Screw : Ø 45 mm
- Stroke volume : 210 g.in.PS
- Opening stroke : 500 mm
- Mould height : 250 mm
- Clearance : 420 x 420 mm
- Ejektor stroke : 175 mm
- Ø locating ring : Ø 125 mm ²⁷
- Core pull HYD : 1
- Core unsrewing : 1
- Pneumatik blowing : 2
- Panel cooling : - 22 °C : 5
- 27 °C : 7



Gambar 3.1 Mesin Arburg 420 C 100 ton

- b. Neraca analitis untuk menimbang *netto* produk tutup botol 500 ml



Gambar 3.2 Alat Timbang

3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Polypropilene* (PP) dengan komposisi 75% bijih plastik murni, 25% plastik *afval* atau *regain* (sisa pembentukan produk yang *reject* dan digiling menjadi butiran berukuran kecil). Adapun spesifikasi bahan plastik PP adalah sebagai berikut :

- a. *Nozzle temperature* leleh : 300 °C
- b. Massa jenis : 0,941 – 0,965 g/cm³
- c. Kristalinitas : 85 – 95 %
- d. Kekuatan tarik : 245 – 335 Kgf/cm²
- e. Perpanjangan : 10 – 25 %
- f. Kekuatan Impak : 17 – 13 Kgf.cm/cm²



(a)



(b)

Gambar 3.3 (a) Material *Polypropilane* (PP) Murni (b) Material *Afval*

3.3 Tahap Identifikasi Masalah

Pada tahap ini merupakan langkah awal yang dilakukan dalam penelitian yang bertujuan untuk mengetahui kondisi perusahaan yang akan menjadi tempat penelitian . tahap ini terdiri dari :

- a. Survey Lapangan dan Identifikasi Variabel Faktor yang Berpengaruh

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan informasi selengkap lengkapnya terkait aktifitas produksi perusahaan dengan tujuan untuk mengetahui kondisi nyata objek yang akan diteliti. Studi lapangan ini meliputi studi proses produksi, spesifikasi produk, dan karakter kualitas. Selain survei lapangan juga di ikuti

dengan identifikasi faktor yang berpengaruh. Identifikasi ini bertujuan untuk mengetahui permasalahan yang ada dalam perusahaan tersebut yang kemudian dijadikan bahan penelitian. Pada penelitian ini survei lapangan di PT. Berlina Tbk dilakukan pada divisi *Injection moulding* pada mesin Arburg 420 C 100 ton yang memproduksi produk tutup botol berulir 500 ml.

b. Studi Pustaka

Studi pustaka bertujuan untuk mencari informasi yang berkaitan dengan permasalahan yang diteliti berupa penelitian terdahulu, buku, jurnal, dan dari internet yang relevan dengan permasalahan yang diteliti. Tujuan dari studi pustaka ini adalah untuk memperoleh teori dan konsep yang dapat dijadikan landasan atau kerangka berpikir dalam menjelaskan permasalahan.

c. Perumusan

Setelah mengetahui kondisi proses produksi yang ada pada perusahaan, maka tahap selanjutnya adalah melakukan perumusan masalah dan penentuan tujuan penelitian. perumusan masalah dan penentuan tujuan penelitian ini adalah memperoleh waktu siklus yang optimal dengan tetap meningkatkan kualitas produk yang ditandai dengan berkurangnya produk *reject* pada produksi tutup botol berulir 500 ml, tujuan tersebut dipilih karena waktu siklus produksi masih melebihi waktu siklus rencana produksi dan jumlah produk *reject* masih dinilai sangat banyak untuk tiap shifnya.

d. Penetapan Variabel Faktor, *Level* dan Variabel Respon yang digunakan

Terdapat banyak variabel proses atau faktor yang berpengaruh terhadap proses *injektion moulding* di PT. Berlina Tbk. Dalam hal ini terdapat dua jenis variabel yaitu meliputi:

1) Variabel Respon (Variabel tak Bebas)

Merupakan salah satu karakteristik kualitas yang kritis pada tutup botol yang dipilih untuk diamati. Dalam hal ini variabel respon yang dipilih adalah waktu siklus (*cycle time*), *netto* dan kualitas produk.

2) Variabel Proses (Variabel Bebas)

Merupakan variabel yang besarnya dapat ditentukan dan dikendalikan berdasarkan pertimbangan tertentu dan tujuan dari penelitian itu sendiri. Terdapat banyak variabel yang dapat dikendalikan dalam proses *injektion moulding*. Akan tetapi dalam penelitian ini dipilih tiga faktor kendali yang diduga memberikan pengaruh yang signifikan terhadap waktu siklus (*cycle time*) ,*netto* dan *reject*. Faktor-faktor tersebut adalah *inject pressure*, *nozzle temperature nosel*, dan *cooling time*.

3) Level yang Digunakan

Penentuan level tahap awal ini bertujuan untuk memperoleh batasan atau level dari variabel yang akan diamati. Level-level tersebut terdiri atas level bawah dengan kode -1 , level menengah dengan kode 0, dan level atas dengan kode +1 . penentuan yang digunakan berdasarkan standart yang sudah ada. Penentuan level masing-masing faktor atau parameter yaitu:

- Penentuan Level *Inject Pressure*

Untuk mendapatkan level yang diinginkan maka perlu dilakukan analisa secara bertahap. Penentuan level *Inject pressure* berdasarkan standard toleransi dari perusahaan dan juga melakukan konsultasi dengan pembimbing lapangan dari perusahaan. Toleransi tekanan injeksi adalah 5%, sedangkan nilai standard perusahaan adalah 1450 bar, maka nilai level yang digunakan yaitu Level bawah (kode -1): 1420 bar, Level menengah (kode 0): 1450 bar, dan Level atas (kode +1): 1480 bar.

- Penentuan Level *Cooling Time*

Penentuan level cooling time sama dengan level *injection moulding*, dengan menggunakan toleransi 5% ($\pm 0,75$ detik) dari nilai standard (15 detik). Namun pembimbing lapang perusahaan menyarankan untuk mengubah level menjadi ± 2 detik, karena penggunaan level $\pm 0,75$ detik tidak membuat perubahan yang signifikan. Sehingga nilai level yang digunakan yaitu Level bawah (kode -1) : 13 detik, Level menengah (kode 0): 15 detik, dan Level atas (kode +1): 17 detik.

- Penentuan Level *Nozzle temperature*

Dalam menentukan nilai level parameter ini sama dengan metode menentukan nilai level *inject pressure*. Nilai standard perusahaan yaitu 260°C, maka nilai level yang digunakan yaitu Level bawah (kode -1): 255 °C, Level menengah (kode 0: 260 °C, dan Level atas (kode +1): 265 °C.

Untuk lebih jelas penjabaran level dari variabel proses di atas dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut ini.

Tabel 3.1 Level yang digunakan

Faktor	Level Bawah	Level Menengah	Level Atas
Kode	-1	0	+1
<i>Inject pressure</i>	1420 bar	1450 bar	1480 bar
<i>Cooling Time</i>	13 detik	15 detik	17 detik
<i>Nozzle temperature</i>	255°C	260°C	265°C

3.4 Tahap Pengumpulan dan Pengolahan Data

Pada tahap ini dilakukan setelah permasalahan penelitian teridentifikasi. Berdasarkan tahap identifikasi yang telah dilakukan diketahui bahwa metode pemecahan masalah yang digunakan adalah desain eksperimen. Metode desain eksperimen selanjutnya dapat disusun langkah-langkah pemecahan masalah secara sistematis. Tahap ini terdiri dari:

a. Penentuan Desain Eksperimen

Tahap ini merupakan tahap perencanaan sebelum dilakukan eksperimen dengan tujuan agar percobaan yang dilakukan akan mencapai sasaran yang tepat sesuai tujuan yang diinginkan. Tahap ini meliputi:

- Identifikasi faktor-faktor yang berpengaruh pada proses
- Penentuan variabel faktor pada proses
- Penetapan level-level faktor
- Perencanaan eksperimen

b. Pelaksanaan Eksperimen

Berikut ini adalah langkah langkah yang digunakan dalam pengambilan data atau prosedur melakukan eksperimen adalah sebagai berikut:

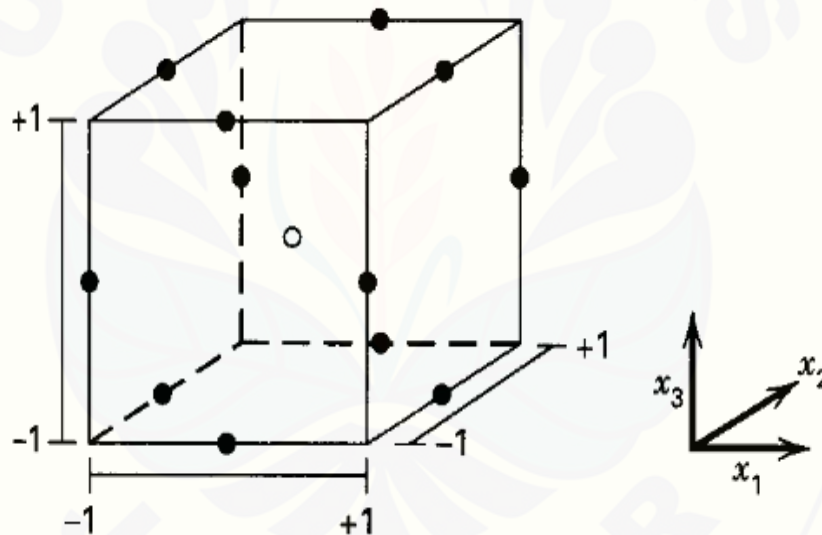
- 1) Memasukkan bahan baku plastic ke dalam tendon material dan mengatur perbandingan material murni dan material afval yang akan diproses yaitu 75% material murni PP dan 25 % material afval.
- 2) Mengatur *temperature barrel* sesuai dengan *melting point* PP.
- 3) Mengatur *inject pressure* sesuai standar awal perusahaan yaitu 1450 bar.
- 4) Mengatur *nozzle temperature* sesuai standar awal yaitu 260 °C.
- 5) Mengatur *colling time* sesuai standar awal yaitu 15 detik.
- 6) Menjalankan mesin dengan kondisi maksimum. Yang dimaksud mesin dalam kondisi maksimum adalah mesin pada kondisi panas dan produk yang dihasilkan stabil.
- 7) Ulangi langkah (1) sampai dengan (6) dengan merubah nilai variabel *inject pressure*, *nozzle temperature*, dan *colling time* sesuai dengan level.
- 8) Pengambilan dan pengukuran berat produk dilakukan dengan 10 kali percobaan dengan 6 replikasi yakni percobaan 2, 3, 4, 7, 8, 10 . replikasi ini dimaksudkan untuk pengambilan sampel acak dari percobaan yang dilakukan.
- 9) Pengukuran kecepatan waktu siklus produksi (*cycle time*) menggunakan *stopwatch* dan pengukuran berat produk menggunakan timbangan yang dimiliki PT. Berlina Tbk.
- 10) Pengukuran berat *netto* produk tutup botol 500 ml menggunakan neraca atau timbangan yang dimiliki perusahaan.
- 11) Dilakukan pemeriksaan kualitas pada setiap hasil percobaan. Kualitas produk harus sesuai dengan kriteria yang diinginkan PT. Berlina Tbk.

c. Analisa data dan optimasi

Metode yang digunakan pada tahap ini adalah metode permukaan respon (*Response Surface Methodology*) dengan desain eksperimen *Box-Behnken*. Tahapan yang harus dilakukan pada analisa data dan optimasi adalah sebagai berikut:

1. Melakukan pengambilan data.

Metode pengambilan data dan kombinasi level berdasarkan rancangan *Box Behnken Design*. Alasan memakai rancangan tersebut karena jumlah eksperimen yang dilakukan lebih sedikit sehingga mempersingkat waktu eksperimen. Rancangan *Box-Behnken Design* dapat dilihat pada Tabel 3.4.



Gambar 3.4 Representasi *Box-Behnken design* (Montgomery, 1997)

Tabel 3.2 Rancangan Percobaan dengan *Box-Behnken Design*

No	<i>Inject pressure</i>	<i>Cooling Time</i>	<i>Holding Pressure</i>	(A) <i>Inject pressure</i> (bar)	(B) <i>Cooling Time</i> (detik)	(C) <i>Nozzle temperature</i> (°C)
1	-1	-1	0	1420	255	15
2	1	-1	0	1480	255	15
3	-1	1	0	1420	265	15
4	1	1	0	1480	265	15
5	-1	0	-1	1420	260	13
6	1	0	-1	1480	260	13
7	-1	0	1	1420	260	17
8	1	0	1	1480	260	17
9	0	-1	-1	1450	255	13
10	0	1	-1	1450	265	13
11	0	-1	1	1450	255	17
12	0	1	1	1450	265	17
13	0	0	0	1450	260	15
14	0	0	0	1450	260	15
15	0	0	0	1450	260	15

2. Pembentukan model.

Pembentukan model ini adalah pembentukan model yang menyatakan hubungan variabel proses dengan variabel respon yang dibentuk dari nilai koefisien penduga model regresi (model percobaan orde dua). Persamaan penduga untuk model regresi adalah sebagai berikut:

Jika $k = 3$ penduga untuk model orde kedua menjadi (Setyawan, dalam Ihsan, 2015):

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + b_{11} X_1^2 + b_{22} X_2^2 + b_{33} X_3^2 + b_{12} X_1 X_2 + b_{13} X_1 X_3 + b_{23} X_2 X_3$$

Untuk mendapatkan nilai koefisien, langkah pertama yang dilakukan adalah mengolah data eksperimen menggunakan *software* komputer sehingga didapatkan nilai koefisien. Kemudian nilai koefisien tersebut dimasukkan kedalam persamaan tersebut di atas.

3. Pengujian model.

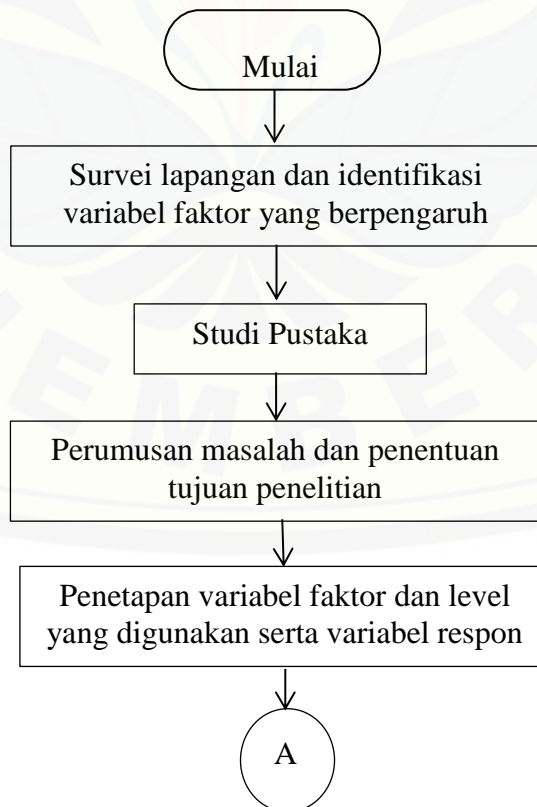
Pengujian dilakukan dengan pengujian asumsi klasik IIDN $(0, \alpha^2)$. Pengujian tersebut antara lain uji identik, uji distribusi normal, dan uji multikolinieritas. Setelah dilakukan pengujian asumsi klasik dilakukan pengujian kesesuaian model. Pengujian yang dilakukan yaitu antara lain uji determinasi (R^2), uji *lack of fit*, uji parameter serentak dan uji parsial.

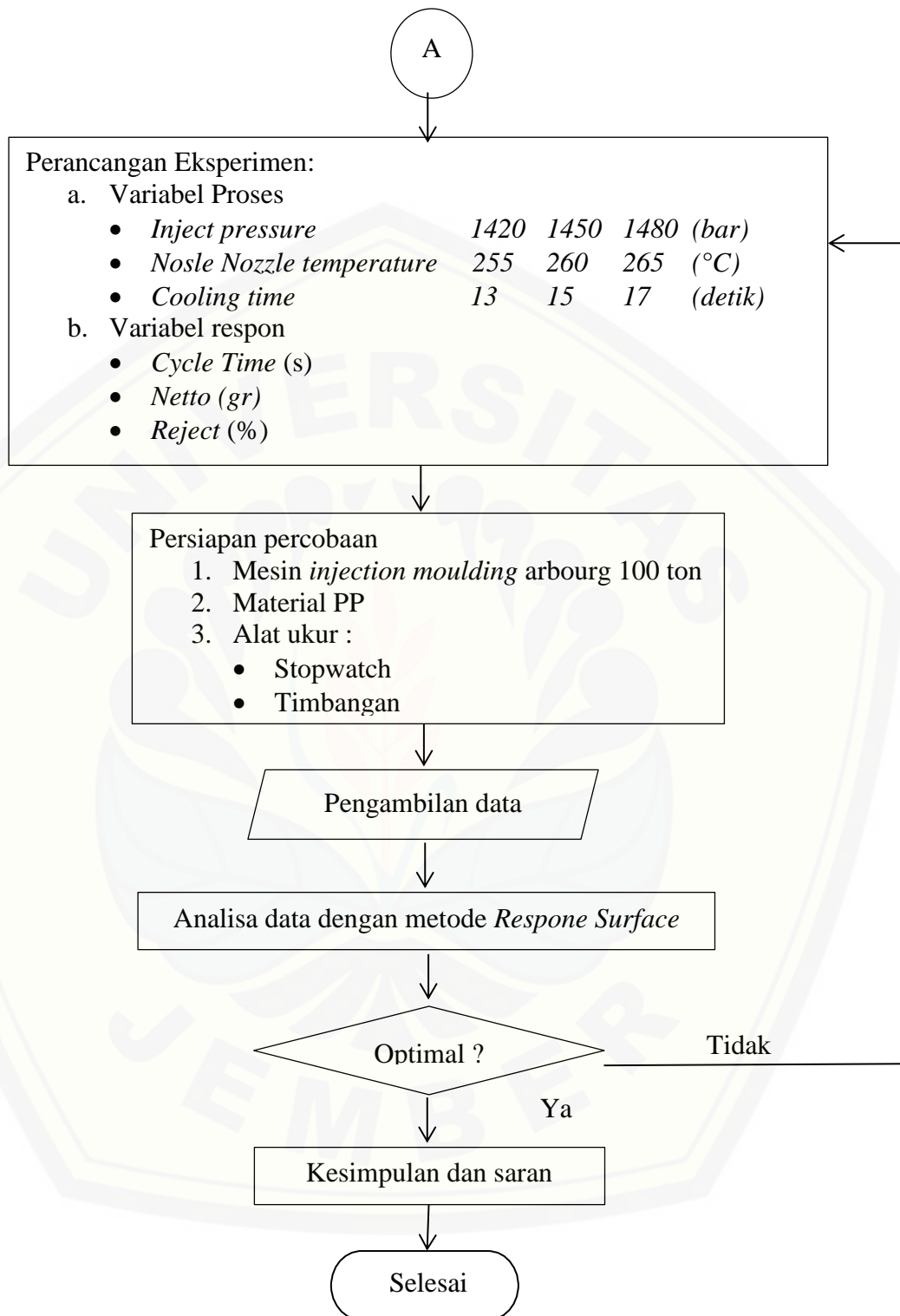
3.5 Tahap Penarikan Kesimpulan

Tahap ini merupakan tahap akhir dari penelitian yaitu melakukan analisis dan interpretasi (tafsiran) terhadap hasil pengolahan data eksperimen. Dengan analisis dan interpretasi tersebut dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai jawaban atas permasalahan yang telah dirumuskan. Selain itu juga diberikan saran yang berguna untuk penelitian selanjutnya.

3.6 Diagram Alir Penelitian

Adapun urutan pekerjaan yang dilakukan dari awal hingga akhir penelitian adalah sebagai berikut:





Gambar 3.5 Diagram alir penelitian

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Setelah melakukan penelitian, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- a. Berdasarkan pengolahan data menggunakan minitab 16 variabel proses yang berpengaruh terhadap *cycle time* produksi produk tutup botol 500 ml adalah *cooling time*. Hal tersebut dibuktikan dengan nilai F-value pada tabel anova yang paling besar adalah nilai F-value untuk *cooling time* yakni sebesar 386471.
- b. Berdasarkan perhitungan menggunakan minitab 16 variabel proses yang berpengaruh terhadap *netto* produk tutup botol 500 ml adalah *inject pressure*. Hal tersebut dibuktikan dengan nilai F-value pada tabel anova yang paling besar adalah nilai F-value untuk *inject pressure* yakni sebesar 1,00211.
- c. Berdasarkan perhitungan menggunakan minitab 16 variabel proses yang berpengaruh terhadap *presentase reject* produk tutup botol 500 ml adalah *nozzle temperature*. Hal tersebut dibuktikan dengan nilai F-value pada tabel anova yang paling besar adalah nilai F-value untuk *nozzle temperature* yakni sebesar 22,39.
- d. Keadaan optimum dihasilkan pada kondisi *inject pressure* sebesar 1420 bar, *nozzle temperature* sebesar 264,79 °C, dan *cooling time* 14,08 detik. Pada keadaan ini produksi dapat naik sebesar 10,836%. Dari keadaan optimum tersebut *cycle time* yang dihasilkan yaitu 27,92 detik, *netto* yang dihasilkan sesuai dengan standar yaitu 4,80 gram dan *presentase reject* yang dihasilkan yaitu 11,11%.
- e. Dengan *cycle time* 27,92 detik dengan *netto* sesuai standar 4,80 gram dan *prosentase reject* yang menurun 1,89%, produk yang dihasilkan berjumlah ± 10.125 pershift atau naik sekitar 9,867 %. Jumlah tersebut

berdasarkan jumlah produk yang dihasilkan pada *cycle time* sebelumnya yaitu 30 detik yang menghasilkan produk ± 9216 pershift.

5.2 Saran

Setelah melakukan penelitian, saran yang dapat penulis sampaikan adalah sebagai berikut:

- a. Penelitian ini merupakan solusi dalam mengatasi masalah optimasi produksi dengan perhitungan statistik, perusahaan diharapkan dapat menjadikan hasil penelitian ini sebagai acuan dan pertimbangan untuk dapat digunakan dan diterapkan pada produksi tutup botol 500 ml maupun produk lain .
- b. Penelitian ini dapat dilanjutkan dengan parameter lain seperti, *holding time*, *inject time*, *holding pressure*, *inject speed*, *temperature mold*, dll. Untuk mendapatkan hasil setting yang mendekati kebutuhan perusahaan secara menyeluruh
- c. Dalam pengambilan sampel pada suatu penelitian diharapkan melakukan pengulangan percobaan yang lebih dari penelitian ini untuk mendapatkan hasil yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdurokhman, M. 2012. “Analisis Konsumsi Energi Pada Proses *Injektion Moulding* untuk Efisiensi Energi”. Tidak Diterbitkan. Skripsi. Depok: Fakultas Teknik Universitas Indonesia
- Ahvenainen, R. 2003. Active and intelligent packing. *Dalam* : Ahvenainen, R (ed). *Novel Food Packaging Techniques*. Abington : Woodhead Publishing : 5-21
- Amri, A. 2009. “Pengaruh Pendinginan dalam Proses *Injection Molding* Pembuatan *Acetabular Cup* pada Sambungan *Hip*”. Tidak Diterbitkan. Skripsi. Solo: Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Anggono, Dwi A. 2005. Prediksi Shrinkage untuk Menghindari Cacat Produk pada Plastic Injection. *MEDIA MESIN* Vol. 6 No. 2. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta
- Chauhan, N. S. 2012. *Optimizing Cycle Time of Dvd-R Injection Moulding Machine*. *Int. J. Engineering Sci. Technol.* ISSN 0975-5462. Vol. 4 (5): 1982-1990.
- Faulina, Ria., Ahyani, Shofi. 2011. *Response Surface Methodology (RSM) dan Aplikasinya*. Surabaya : Jurusan Statistika Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya
- Ihsan, M. S. 2015. “Optimasi Waktu Siklus Produk Botol 150 ml pada Proses *BlowMolding* Menggunakan Metode Respon Permukaan”. Tidak Diterbitkan.
- Iriawan, Nur. 2006. *Mengolah Data Statistik dengan Mudah Menggunakan Minitab 14*, Yogyakarta : Andi Yogyakarta

- Jamaluddin, A. 2007. Injection Molding dan Penerapannya di Industri Manufaktur. *Makalah Kuliah Umum*. Bekasi : Kuliah PPS Ilmu Material Universitas Indonesia. 25 Januari.
- Kristiyantoro, Tatag. 2009. Optimasi Waktu Siklus Pembuatan Kemasan Produk *Chamomile* 120 ml dengan Proses *Blow Molding*. Jember : Jurusan Teknik Mesin Universitas Jember
- Moerbani, J. 1999. *Plastic Moulding*. Diktat Kuliah, Akademi Teknik Mesin Industri. Surakarta.
- Montgomery, Douglas. C. 1997. *Design and Analysis of Experiments*. 5th Australia : John Wiley & Sons Inc
- Nicolaus, D. 2017. “Analisis Parameter *injection moulding* terhadap Waktu Siklus Produk Kemasan Sarung Menggunakan Metode Taguchi”. Skripsi. Jember: Teknik Mesin Universitas Jember
- Oktaviandi, S. D. 2012. “Analisa Pengaruh Parameter Tekanan dan Waktu Penekanan Terhadap Sifat Mekanik dan Cacat Penyusutan dari Produk *Injection Molding* Berbahan *Polyethylene* (PE)”. Tidak Diterbitkan. Skripsi. Cilegon: Jurusan Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
- Ronald. J. Baird. 1986. *Industrial Plastic*. The Goodheart – Willocox Company Inc. New York.
- Saito, S. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Terjemahan oleh Surdia, T. 1999. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Sudjana. 1994. *Desain dan Analisis Eksperimen*. Edisi III. Bandung :Tarsito
- Sulistyanto, D. 2017. “Analisis parameter *injection moulding* terhadap waktu siklus tutup botol 500 ml menggunakan desain *box-behnken*”. Skripsi. Jember: Teknik Mesin Universitas Jember

Lampiran A Data Hasil Percobaan Menggunakan Design Box Behnken

1. Tabel Hasil Percobaan untuk *Cycle Time* dengan 10 kali pengulangan

Exp	Parameter			Hasil									
	Inject Pressure (bar)	Temperature Nosel °C	Cooling Time detik	Cycle Time (detik)									
				A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	1420	255	15	28,92	28,89	28,87	28,87	28,85	28,85	28,85	28,84	28,85	28,85
2	1480	255	15	28,87	28,87	28,86	28,87	28,87	28,85	28,85	28,84	28,84	28,84
3	1420	265	15	28,88	28,87	28,85	28,85	28,84	28,82	28,82	28,82	28,82	28,82
4	1480	265	15	28,81	28,81	28,83	28,84	28,82	28,82	28,79	28,81	28,82	28,82
5	1420	260	13	26,87	26,86	26,84	26,84	26,83	26,82	26,83	26,83	26,84	26,81
6	1480	260	13	26,83	26,84	26,82	26,82	26,81	26,81	26,81	26,81	26,81	26,81
7	1420	260	17	29,88	30,82	30,83	30,82	30,82	30,84	30,83	30,82	30,82	30,82
8	1480	260	17	30,81	30,84	30,82	30,82	30,82	30,83	30,83	30,83	30,82	30,82
9	1450	255	13	26,85	26,86	26,86	26,84	26,84	26,84	26,84	26,84	26,83	26,83
10	1450	265	13	26,81	26,83	26,81	26,81	26,81	26,81	26,8	26,8	26,8	26,8
11	1450	255	17	30,83	30,84	30,84	30,83	30,84	30,85	30,83	30,84	30,85	30,85
12	1450	265	17	30,81	30,83	30,8	30,81	30,81	30,82	30,81	30,81	30,81	30,81
13	1450	260	15	28,84	28,85	28,84	28,85	28,84	28,83	28,82	28,82	28,84	28,83
14	1450	260	15	28,83	28,82	28,81	28,83	28,81	28,81	28,81	28,81	28,83	28,81
15	1450	260	15	28,8	28,8	28,82	28,8	28,81	28,8	28,81	28,81	28,81	28,81

2. Tabel Hasil Percobaan untuk *Netto* dengan 10 kali pengulangan

Exp	Parameter			Hasil									
	<i>Inject Pressure</i> (bar)	<i>Temperature Nosel</i> °C	<i>Cooling Time</i> detik	<i>Netto</i> (gram)									
				<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>F</i>	<i>G</i>	<i>H</i>	<i>I</i>	<i>J</i>
1	1420	255	15	33,6873	33,5989	33,615	33,7114	33,7142	33,8882	33,3499	33,2133	33,5025	33,5588
2	1480	255	15	33,5507	33,5266	33,7275	33,6311	33,5347	33,5507	33,7355	33,3981	33,6311	33,4945
3	1420	265	15	33,7918	33,8078	33,6713	33,7114	33,615	33,6231	33,5427	33,7436	33,4463	33,3981
4	1480	265	15	33,4704	33,7918	33,615	33,5507	33,5829	33,4855	33,5427	33,6793	33,5909	33,6472
5	1420	260	13	33,6954	33,6311	33,4302	33,5829	33,5748	33,6793	33,4704	33,5186	33,2374	33,4463
6	1480	260	13	33,4222	33,5588	33,382	33,7355	33,4704	33,5186	33,5347	33,2133	33,4302	33,3419
7	1420	260	17	33,5829	33,5025	33,5106	33,2294	33,6793	33,615	33,6391	33,6231	33,6632	33,6713
8	1480	260	17	33,6552	33,2374	33,5106	33,6552	33,6391	33,5347	33,7419	33,3338	33,5106	33,5347
9	1450	255	13	33,7114	33,6311	33,6954	33,4624	33,382	33,8319	33,5989	33,4463	33,3579	33,615
10	1450	265	13	33,6873	33,6311	33,374	33,1249	33,4945	33,6552	33,4142	33,5507	33,7195	33,5427
11	1450	255	17	33,7436	33,5668	33,6311	33,4302	33,5106	33,6391	33,6954	33,5507	33,6873	33,6231
12	1450	265	17	33,4945	33,856	33,5347	33,7918	33,7677	33,6873	33,5427	33,1089	33,7677	33,767
13	1450	260	15	33,7677	33,7918	33,5989	33,6793	33,5829	33,6231	33,5347	33,607	33,848	33,6391
14	1450	260	15	33,3499	33,6954	33,4383	33,8882	33,5025	33,615	33,4543	33,7195	33,6632	33,4463
15	1450	260	15	33,4704	33,6552	33,4865	33,374	33,2454	33,5025	33,4784	33,5507	33,5186	33,4383

3. Tabel Hasil Percobaan untuk *reject* dengan 10 kali pengulangan

Exp	Parameter			Hasil																			
	<i>Inject</i>	<i>Temperature</i>	<i>Cooling</i>	<i>REJECT (pcs)</i>										<i>REJECT (%)</i>									
	<i>Pressure</i>	<i>Nosel</i>	<i>Time</i>	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	(bar)	°C	detik																				
1	1420	255	15	0	1	2	2	1	1	1	2	0	0	0,00	14,29	28,57	28,57	14,29	14,29	14,29	28,57	0,00	0,00
2	1480	255	15	1	1	1	0	1	0	2	1	1	2	14,29	14,29	14,29	0,00	14,29	0,00	28,57	14,29	14,29	28,57
3	1420	265	15	2	0	2	1	0	0	1	0	0	1	28,57	0,00	28,57	14,29	0,00	0,00	14,29	0,00	0,00	14,29
4	1480	265	15	1	2	3	1	0	2	1	3	1	1	14,29	28,57	42,86	14,29	0,00	28,57	14,29	42,86	14,29	14,29
5	1420	260	13	1	1	0	2	0	1	0	0	0	1	14,29	14,29	0,00	28,57	0,00	14,29	0,00	0,00	0,00	14,29
6	1480	260	13	1	0	1	2	1	1	1	3	1	0	14,29	0,00	14,29	28,57	14,29	14,29	14,29	42,86	14,29	0,00
7	1420	260	17	0	0	1	1	3	1	2	1	2	0	0,00	0,00	14,29	14,29	42,86	14,29	28,57	14,29	28,57	0,00
8	1480	260	17	0	0	0	1	2	2	1	1	2	1	0,00	0,00	0,00	14,29	28,57	28,57	14,29	14,29	28,57	14,29
9	1450	255	13	2	1	2	1	1	2	1	3	1	0	28,57	14,29	28,57	14,29	14,29	28,57	14,29	42,86	14,29	0,00
10	1450	265	13	1	1	1	2	1	0	1	0	1	1	14,29	14,29	14,29	28,57	14,29	0,00	14,29	0,00	14,29	14,29
11	1450	255	17	1	1	2	0	3	0	2	3	2	1	14,29	14,29	28,57	0,00	42,86	0,00	28,57	42,86	28,57	14,29
12	1450	265	17	0	2	1	3	2	1	2	2	1	3	0,00	28,57	14,29	42,86	28,57	14,29	28,57	28,57	14,29	42,86
13	1450	260	15	0	1	1	0	2	2	1	0	1	2	0,00	14,29	14,29	0,00	28,57	28,57	14,29	0,00	14,29	28,57
14	1450	260	15	0	0	1	0	1	0	1	2	0	0	0,00	0,00	14,29	0,00	14,29	0,00	14,29	28,57	0,00	0,00
15	1450	260	15	2	1	1	0	2	1	1	1	0	1	28,57	14,29	14,29	0,00	28,57	14,29	14,29	14,29	0,00	14,29

Lampiran B. Analisa Response Surface untuk Cycle Time**Response Surface Regression: cycle time versus X1; X2; X3**

The analysis was done using coded units.

Estimated Regression Coefficients for cycle time

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	28,8194	0,005251	5487,959	0,000
X1	-0,0052	0,003216	-1,620	0,166
X2	-0,0156	0,003216	-4,859	0,005
X3	1,9992	0,003216	621,668	0,000
X1*X1	0,0117	0,004734	2,479	0,056
X2*X2	0,0117	0,004734	2,479	0,056
X3*X3	-0,0053	0,004734	-1,130	0,310
X1*X2	-0,0037	0,004548	-0,825	0,447
X1*X3	0,0050	0,004548	1,099	0,322
X2*X3	0,0025	0,004548	0,550	0,606

S = 0,00909568 PRESS = 0,00132222
 R-Sq = 100,00% R-Sq(pred) = 100,00% R-Sq(adj) = 100,00%

Analysis of Variance for cycle time

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	9	31,9768	31,9768	3,5530	42945,92	0,000
Linear	3	31,9755	31,9755	10,6585	128832,49	0,000
X1	1	0,0002	0,0002	0,0002	2,62	0,166
X2	1	0,0020	0,0020	0,0020	23,61	0,005
X3	1	31,9733	31,9733	31,9733	386471,25	0,000
Square	3	0,0011	0,0011	0,0004	4,55	0,068
X1*X1	1	0,0005	0,0005	0,0005	6,15	0,056
X2*X2	1	0,0005	0,0005	0,0005	6,15	0,056
X3*X3	1	0,0001	0,0001	0,0001	1,28	0,310
Interaction	3	0,0002	0,0002	0,0001	0,73	0,577
X1*X2	1	0,0001	0,0001	0,0001	0,68	0,447
X1*X3	1	0,0001	0,0001	0,0001	1,21	0,322
X2*X3	1	0,0000	0,0000	0,0000	0,30	0,606
Residual Error	5	0,0004	0,0004	0,0001		
Lack-of-Fit	3	0,0000	0,0000	0,0000	0,05	0,982
Pure Error	2	0,0004	0,0004	0,0002		
Total	14	31,9772				

Estimated Regression Coefficients for cycle time using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	67,1030
X1	-0,0327400
X2	-0,214736
X3	0,853854
X1*X1	1,30401E-05
X2*X2	0,000469444
X3*X3	-0,00133681
X1*X2	-2,50000E-05
X1*X3	8,33333E-05
X2*X3	0,000250000

Lampiran C Analisa Response Surface untuk Netto**Response Surface Regression: netto versus X1; X2; X3**

The analysis was done using coded units.

Estimated Regression Coefficients for netto

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	33,5820	0,04288	783,134	0,000
X1	-0,0012	0,02626	-0,046	0,965
X2	0,0090	0,02626	0,344	0,745
X3	0,0282	0,02626	1,075	0,331
X1*X1	-0,0178	0,03865	-0,461	0,664
X2*X2	0,0301	0,03865	0,778	0,472
X3*X3	-0,0627	0,03865	-1,622	0,166
X1*X2	-0,0214	0,03714	-0,577	0,589
X1*X3	0,0063	0,03714	0,169	0,872
X2*X3	0,0381	0,03714	1,027	0,352

S = 0,0742730 PRESS = 0,284638
 R-Sq = 55,78% R-Sq(pred) = 0,00% R-Sq(adj) = 0,00%

Analysis of Variance for netto

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	9	0,034795	0,034795	0,003866	0,70	0,697
Linear	3	0,007044	0,007044	0,002348	0,43	0,743
X1	1	0,000012	0,000012	0,000012	1,00	0,965
X2	1	0,000652	0,000652	0,000652	0,12	0,745
X3	1	0,006381	0,006381	0,006381	0,16	0,331
Square	3	0,019939	0,019939	0,006646	1,20	0,0398
X1*X1	1	0,000896	0,001173	0,001173	0,21	0,664
X2*X2	1	0,004526	0,003342	0,003342	0,61	0,472
X3*X3	1	0,014516	0,014516	0,014516	2,63	0,166
Interaction	3	0,007812	0,007812	0,002604	0,47	0,715
X1*X2	1	0,001836	0,001836	0,001836	0,33	0,589
X1*X3	1	0,000158	0,000158	0,000158	0,03	0,872
X2*X3	1	0,005818	0,005818	0,005818	1,05	0,352
Residual Error	5	0,027582	0,027582	0,005516		
Lack-of-Fit	3	0,016187	0,016187	0,005396	0,95	0,550
Pure Error	2	0,011395	0,011395	0,005697		
Total	14	0,062377				

Estimated Regression Coefficients for netto using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	32,4550
X1	0,0929517
X2	-0,474084
X3	-0,659142
X1*X1	-1,98025E-05
X2*X2	0,00120344
X3*X3	-0,0156753
X1*X2	-1,42833E-04
X1*X3	0,000104792
X2*X3	0,00381375

Lampiran D Analisa Response Surface untuk Reject**Response Surface Regression: reject versus X1; X2; X3**

The analysis was done using coded units.

Estimated Regression Coefficients for reject

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	11,1111	2,273	4,889	0,005
X1	1,7857	1,392	1,283	0,256
X2	1,1905	1,392	0,855	0,431
X3	1,7857	1,392	1,283	0,256
X1*X1	-0,7937	2,049	-0,387	0,714
X2*X2	8,7302	2,049	4,262	0,008
X3*X3	1,5873	2,049	0,775	0,473
X1*X2	3,5714	1,968	1,815	0,129
X1*X3	-2,3810	1,968	-1,210	0,280
X2*X3	3,5714	1,968	1,815	0,129

S = 3,93638 PRESS = 1187,64
 R-Sq = 86,11% R-Sq(pred) = 0,00% R-Sq(adj) = 61,11%

Analysis of Variance for reject

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	9	480,348	480,348	53,372	3,44	0,093
Linear	3	62,358	62,358	20,786	1,34	0,036
X1	1	25,510	25,510	25,510	1,65	0,256
X2	1	11,338	11,338	11,338	0,73	0,431
X3	1	25,510	25,510	25,510	1,65	0,256
Square	3	293,273	293,273	97,758	6,31	0,037
X1*X1	1	8,746	2,326	2,326	0,15	0,714
X2*X2	1	275,224	281,412	281,412	18,16	0,008
X3*X3	1	9,303	9,303	9,303	0,60	0,473
Interaction	3	124,717	124,717	41,572	2,68	0,158
X1*X2	1	51,020	51,020	51,020	3,29	0,129
X1*X3	1	22,676	22,676	22,676	1,46	0,280
X2*X3	1	51,020	51,020	51,020	3,29	0,129
Residual Error	5	77,475	77,475	15,495		
Lack-of-Fit	3	73,696	73,696	24,565	13,00	0,072
Pure Error	2	3,779	3,779	1,890		
Total	14	557,823				

Estimated Regression Coefficients for reject using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	31197,0
X1	-2,97840
X2	-221,230
X3	-46,3294
X1*X1	-8,81834E-04
X2*X2	0,349206
X3*X3	0,396825
X1*X2	0,0238095
X1*X3	-0,0396825
X2*X3	0,357143

Lampiran E



Gambar E.1 Produk Tutup Botol 500 ml



Gambar E.2 Sampel Penelitian

Lampiran E (Lanjutan)



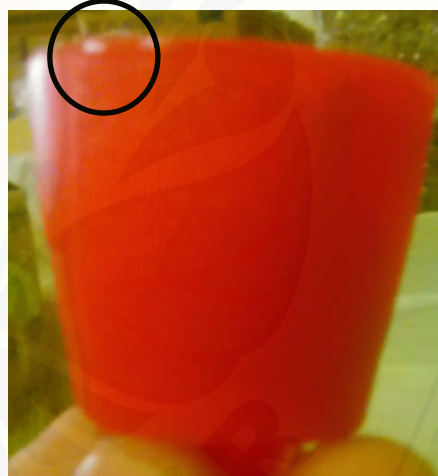
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar E.3 Cacat Produk (a) Cacat Ujung, (b) Cacat blackdot, (c) Cacat Permukaan, (d) Cacat Flash

Lampiran F. Protokol Produksi

Protokol No: 183/IM/2017/P **PROTOKOL PROSES PRODUKSI** No.revisi 09
INJECTION MOULDING

Nama Produk : CAP RED HARPIC LIQ KREMER 500 ml Tanggal : 03-03-2017
 Jumlah cavity active : 7 Mesin : ARB 100-4
 Cycle time std : 28.00 Cycle time actual : 30.00
 Material : PP Warna : RED
 NOZLE ø : 1,5 mm Campuran material : MURNI & AFVAL

Sequence : Core in maju – mould close – IU maju – injeksi – holding – cooling time paralel dengan plasticizing – decomp – IU mundur – Cooling time habis – Mould open s/d intermediate stop – core out bersamaan mould open dan valve udara – and produk jatuh – core in lagi

TEMPERATURE	INJECTION FILLING PHASE	INJECTION UNIT					HOLDING PHASE	PLASTICIZING
		4	3	2	1	1		
ZONA 1 : 200	Speed (mm/s)					V : 25	Short Weight (mm)	62
ZONA 2 : 210	Press (bar/kn)			20	35	P : 500 550	RPM	85
ZONA 3 : 220	Step inj (mm)			950	1000	T : 1 4	Back press (bar)	300
ZONA 4 : 230	Start holding (mm)				22		Decomp speed (mm/s)	
ZONA 5 :	Melt cushion (mm)						Decomp stroke (mm)	
ZONA 6 :	Time inj monitor (s)						Cooling time (s)	
ZONA 7 :	Time inj actual (s)	2,5					Monitor time plasticizing	
NOZLE : 260							IU Retract (mm)	

CLOSE	CLAMPING UNIT					OPEN	PROGRAME EJECTOR				
	1	2	3	4	5			3	2	1	
Close Force (KN) :	15		5			Open Press (bar/kn) :	20	25	20	Clearance ejector MC with mould (mm)	mm
Close Speed (mm/s):	400	100	45			Open Speed (mm/s) :	150	400	250	Start ejector (mm)	-
Step close (mm) :	20	10	0,5			Step Open (mm) :	205	160	120	Ejector Adv press (bar)	-
MOULD PROTECTION FORCE (bar/kn):						Start core Position :				Ejector Adv speed	-
Monitoring time mould protection (s):						Max Open (mm) :	205			Step ejector Adv (mm)	-
Position start Clamping Force (mm) :						Blowing start (mm) :				Ejector Adv switch monitoring	-
Toleransi start clamping force (mm) :						Blowing time (s) :				Ejector back press (bar)	-
Clamping Force (bar/kn) :			550			Blowing delay (s) :				Ejector back speed (mm/s)	-
Actual position zero point (mm) :										Ejector back switch monitoring	-

NO	Core Program	Function	Start open position	Start close position	Core aligned and Connector loose	Parallel	In assurance	switch	timer	All interruption	Without interruption	Soft core	Eject monitoring device	Residual function	Time core	Monitor/ha time	in	by	Pressure core	Sound core	
1	Core 2 in	Core male Maju		205 mm																20	
2	Core 2 out	Core male mundur																		50	

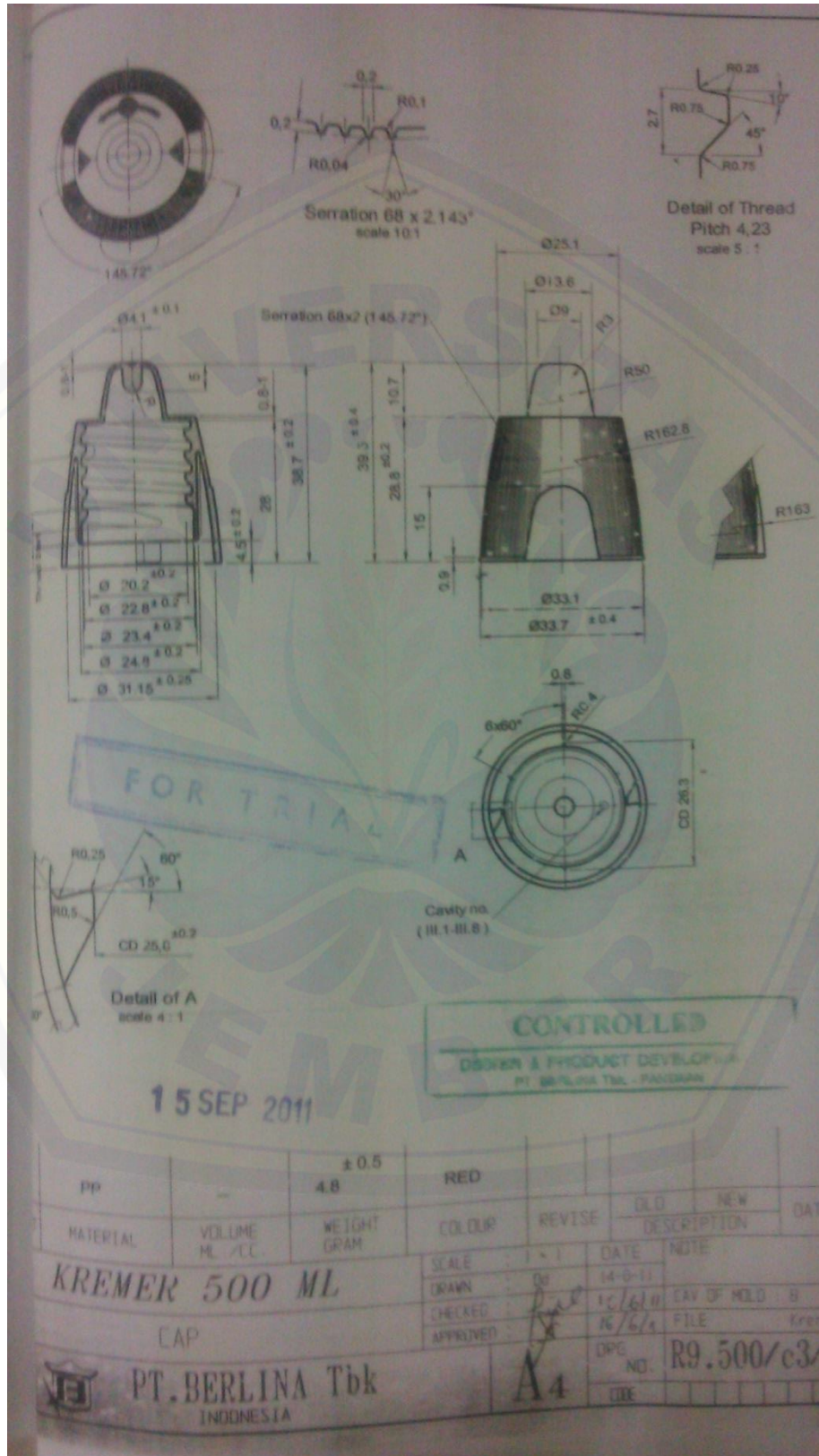
Mould Dimension
 Length : 205 (mm)
 Width : R.33 (mm)
 Height : 8 (pcs)
 Total stroke : 205 (mm)
 Max open : R.33 (mm)
 Location ring : 8 (pcs)
 Radius of sprue : R.33 (mm)
 Cavities : 8 (pcs)

Pressure : ±50 bar
 Speed : ±50 mm/s
 Temp : ±20°C
 Time : ±5 s
 Stroke : ±5 mm
 Note :

Male : air biasa
 Female : air biasa
 Plat runner : air biasa
 Stripper : udara
 Slider :

Rev No	Revisi	Description	Prepared	Reviewed	Approved
		Old	New	By	By
09				nr	nr

Lampiran H. Desain Produk



Lampiran I. Surat Keterangan Penelitian



PT BERLINA Tbk.
Head Office & Cikarang Factory :
Jl. Jababeka Raya Blok E 12 - 17, Kawasan Industri Jababeka Cikarang
Ds. Wangun Harja, Cikarang Utara, Bekasi, 17520 Jawa Barat - Indonesia
P. +62 21 898 30160 • F. +62 21 898 30161
www.berlina.co.id
Certified On : • ISO 9001 • ISO 14001 • OHSAS 18001

SURAT KETERANGAN
No. 005/I/17/SW

Yang bertanda tangan di bawah ini menerangkan bahwa :

N a m a : Kurniawan Purnama Putra
 NIM : 131910101077
 Program Studi : Teknik Mesin – Univ. Negeri Jember

telah melakukan kegiatan Penelitian di Perusahaan kami untuk keperluan penyusunan skripsi dengan judul "**Optimasi Produksi Tutup Botol 500 ml Pada Proses Injeksi Molding Menggunakan Metode Response Surface**", pada tanggal 3 april s/d 21 april 2017

Demikian surat keterangan ini dibuat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Pandaan, 21 april 2017


PT. BERLINA Tbk.
Susilowati
 HRD Dept.

Pandaan Factory : Jl. Raya Pandaan Km. 43 Pandaan 67156 - Pasuruan East Java - Indonesia P. +62 343 831 901 • F. +62 343 831 902	Tangerang Factory : Jl. Raya Moch. Toha Km. 5 Kp. Pangasingan Kelurahan Peruk Jaya, Kecamatan Peruk Tangerang 15131 Indonesia P. +62 21 553 5540 • F. +62 21 553 5539	HEFEI PARAGON PLASTIC PACKAGING Co. Ltd. No. 28 Shang Hai Road Baohu Industrial Zone Hefei City - China 230051 P. +86 551 86 105 709 • F. +86 551 8610 5698	PT. QUANTEK Jl. Gebot Subroto Km. 6 Kampung Cikarang Ilir No. 8 Kel. Gandasan, Jatiwangung - Tangerang 15137 P. +62 21 5555 6583, 5555 6584 • F. +62 21 5565 2097
---	--	--	--

the complete plastic processing concept