



**OPTIMASI WAKTU SIKLUS PRODUKSI BOTOL 50ml PADA
PROSES *BLOW MOULDING* DENGAN
METODE RESPON PERMUKAAN**

SKRIPSI

Oleh

**Muhammad Kahlil Gibran
111910101071**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2016**



**OPTIMASI WAKTU SIKLUS PRODUKSI BOTOL 50ml PADA
PROSES *BLOW MOULDING* DENGAN
METODE RESPON PERMUKAAN**

SKRIPSI

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

Oleh

**Muhammad Kahlil Gibran
111910101071**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2016**

PERSEMBAHAN

Skripsi ini kupersembahkan untuk kedua orang tuaku **Ishaq Bahri** dan **Ida Masnawiyah**, serta untuk kedua adikku **Azaria Isda** dan **Dede Muhammad** yang telah memberikan banyak inspirasi, motivasi, cinta, doa, senyum, semangat dan telah menjadi satu-satunya alasan untukku agar tidak pernah menyerah dalam keadaan apapun.

MOTTO

Jika Kamu tidak dapat menahan lelahnya belajar, Maka kamu harus sanggup menahan perihnya Kebodohan.
(Imam Syafi'i)

Maka ni`mat Tuhan kamu yang manakah yang kamu dustakan?
(Terjemahan QS 55 ayat 13)

Orang akan tetap pandai selama dia terus belajar, bila dia berhenti belajar karena merasa sudah pandai, mulailah dia bodoh
(KH A. Mustofa Bisri)

Ilmu pengetahuan tanpa agama lumpuh, agama tanpa ilmu pengetahuan buta.
(Albert Einstein)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

nama : Muhammad Kahlil Gibran

NIM : 111910101071

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “OPTIMASI WAKTU SIKLUS PRODUKSI BOTOL 50ml PADA PROSES *BLOW MOULDING* DENGAN METODE RESPON PERMUKAAN” 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 di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, Januari 2016

Yang menyatakan,

(Muhammad Kahlil Gibran)

NIM 111910101071

SKRIPSI

OPTIMASI WAKTU SIKLUS PRODUKSI BOTOL 50ml PADA PROSES *BLOW MOULDING* DENGAN METODE RESPON PERMUKAAN

Oleh

Muhammad Kahlil Gibran
NIM 111910101071

Pembimbing:

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

Dosen Pembimbing Anggota : Ir. FX Kristianta, M.Eng.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Optimasi Waktu Siklus Produksi Botol 50ml pada Proses Blow Moulding Dengan Metode Respon Permukaan ” telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal : Kamis, 7 Januari 2016

tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji

Ketua,



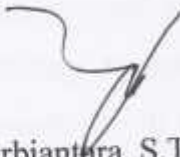
Ir. Dwi Djumhariyanto, M.T.
NIP 19600812199802 1 001

Sekretaris,



Ir. FX Kristianta, M.Eng.
NIP 19650120200112 1 001

Anggota I,



Hari Arbiantara, S.T., M.T.
NIP 19751006 200212 1 002

Anggota II,



Dr. Salahuddin Junus, S.T., M.T.
NIP 19751006 200212 1 002

Mengesahkan
Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,



Dr. Widyono Hadi, M.T.
NIP. 19610414 198902 1 001

RINGKASAN

Optimasi Waktu Siklus Produksi Botol 50ml Pada Proses Blow Moulding Dengan Metode Respon Permukaan; Muhammad Kahlil Gibran, 111910101071; 2016; 77 halaman; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Dewasa ini perkembangan teknologi pada industri kemasan plastik sangat pesat, dimana perkembangan teknologi ini diikuti dengan meningkatnya kuantitas produksi dengan mempercepat waktu siklus produksi. Hal ini dapat dilihat dengan meningkatnya pula permintaan produk plastik di Indonesia yang sekitar 4,6 juta ton per tahun dengan pertumbuhan rata-rata 5% per tahun, dimana porsi terbesar (40%) adalah untuk plastik kemasan.

Dalam penelitian kali ini difokuskan tentang peningkatan nilai kuantitas produksi botol 50 ml dengan tetap menjaga kualitas dari produk, menggunakan variasi tiga parameter respon yaitu *blowing pressure*, *blowing time* dan *stop time* dengan tiga level yaitu -1, 0 dan +1, dimana 0 adalah nilai tengah atau nilai standar yang sedang digunakan pabrik. Kombinasi ini di replikasi sebanyak 5 kali kemudian di rata-rata dan di olah menggunakan metode respon permukaan dengan rancangan percobaan *Box-behnken*.

Penelitian ini dilakukan di PT. Berlina Tbk Jl. Pandaan - Malang KM 43 Kecamatan Pandaan Kabupaten Pasuruan Propinsi Jawa Timur untuk mendapatkan data hasil produksi dan pengolahan data.

Dari hasil penelitian didapat bahwa pada produksi botol 50 ml berbahan 50% HDPE murni + 50% afval yang menggunakan mesin *extrusion blow moulding* parameter proses *blowing time* memiliki pengaruh paling tinggi terhadap ketiga parameter respon, yaitu *cycle time*, *netto* dan *volume* dan melalui teori statistik metode respon permukaan didapatkan keadaan optimum produksi, yaitu pada kondisi *blowing pressure* sebesar 5 bar, *blowing time* sebesar 8 detik dan *stop time* 1,5 detik dimana pada kondisi ini menghasilkan botol 50 ml dengan *cycle time* sebesar 12,60 detik, *netto* sebesar 13,34 gram dan *volume* sebesar 89,87 ml

SUMMARY

Cycle Time Optimization Production of 50ml Bottle on Blow Moulding Prrocess Using Response Surface Methodology; Muhammad Kahlil Gibran, 111910101071; 2016; 77 Pages; Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember.

Nowadays, the development of technology in the plastic packaging industry is very rapid, in which technological development is followed by increasing the quantity of production by accelerating the production cycle time. It can also be seen with the increasing demand for plastic products in Indonesia are about 4.6 million tons per year with an average growth of 5% per annum, of which the largest portion (40%) is for plastic packaging.

In the present study focused on the increase in value of production quantity 50 ml bottle while maintaining the quality of the product, using a variation of three parameters, namely the response pressure blowing, blowing time and stop time with three levels, namely -1, 0 and +1, where 0 is the value middle or default values are being used in plant. This combination is replicated 5 times and then on average and processed using response surface method to the *Box-Behnken* experimental design.

This research was conducted at PT. Berlina Tbk Jl. Pandaan - Malang KM 43 Pandaan Pasuruan District of East Java Province to obtain data production and data processing.

The result is that the production of bottles of 50 ml made from 50% HDPE pure + 50% afval engine that uses extrusion blow molding process parameters blowing time have the highest impact on the three parameters of the response, the cycle time, net and volume and through statistical theory methods repon obtained surface state of optimum production, on condition of blowing pressure of 5 bar, blowing time of 8 seconds and stop time of 1.5 seconds which in these conditions resulted in bottles of 50 ml with a cycle time of 12.60 seconds, netto amounted to 13.34 g and volume of 89.87 ml

PRAKATA

Puji syukur ke hadirat Allah Swt. atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi berjudul “Optimasi Waktu Siklus Produksi Botol 50ml Pada Proses Blow Moulding Dengan Metode Respon Permukaan”. Shalawat serta salam semoga tetap tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW sebagai sumber inspirasi dan panutan umat manusia dalam menjalani kehidupan di dunia ini. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penulis sangat berterima kasih kepada semua pihak yang telah membantukarena tidak lain tidak lepas dari bantuan berbagai pihak selama penyusunan skripsi ini kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan nikmat dan karunia yang tidak pernah henti dapat penulis rasakan setiap detik dalam hidup ini;
2. Kedua orang tuaku, Ishaq Bahri dan Ida Masnawiyah yang senantiasa mendoakan dan tiada hentinya memberikan arahan, bimbingan, motivasi, perhatian, materi, dan mengajarkan pelajaran hidup yang tidak kenal lelah;
3. Kedua adikku, Azaria Isda dan Dede Muhammad yang selalu memberikan dorongan, semangat dan motivasi;
4. Bapak Ir. Dwi Djumhariyanto M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama, Bapak Ir. FX Kristiyanta M.Eng. selaku Dosen Pembimbing anggota yang telah meluangkan waktu, masukan, dan ide dalam penulisan skripsi ini;
5. Bapak Hari Arbiantara S.T., M.T. selaku Dosen Penguji Utama, Bapak Dr. Salahuddin Junus, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji anggota yang banyak sekali saran yang sangat membantu dan arahan menuju ke arah yang benar dalam penyelesaian skripsi ini;
6. Bapak Dosen Universitas Jember khususnya Jurusan Teknik Mesin yang telah membimbing selama penulis menjadi mahasiswa;

7. Saudara-saudaraku Teknik Mesin 2011 Universitas Jember Ihsan, Anton, Doni, Sujat, Ryan, Rudin, Anugrah, Sadam, Febri, Abid, Bangkit, Angga, Pemi, Riza, Aang, Annas, Risky, Agung Widodo, Agung Fauzi, Novia, Halim, Sigit, Jupri, Muslih, Firas, Hendri, Niko, Fian, Aman, Asrofi, Anton, Arif Rahmat, Dani, Galih, Hanif, Luki, Mahfud, Mirza, Yohanes, Yunus, Tito, Lutfi, Itok, Dayu, Aisyah, Upit, Kiki, Arif War, Arif Ngipret, Wildan Mukholadun, Wildan Gobes, Mukri, Aris Niban Uchiha, Yurike, Mar'iy, Rizki Wo, Amril, Aris, Ika, Farihen, Rofiq, Romi, Muslih, Hegar, Sofyan Gundul, Malik, Haqi, Agus, irsyad, Meinovan, Sofyan Patek, Imron, dll yang selalu mengajarkan arti pengorbanan, kesetiaan dan pelajaran hidup. semoga tetap menjadi “DULUR SAK LAWASE”. Semoga kalian semua mendapatkan yang terbaik. Salam SOLVER;
8. Rekan satu tim penelitian *Blow Moulding* (Ihsan, Agus dan Anton) yang sudah memberikan bantuan saat penelitian dan semangat kekeluargaan;
9. Teman-teman *Breng's* Dias, Hajar, Devid, Drajad dll yang saling membantu sejak awal kuliah sampai akhirnya lulus.
10. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa manusia tidak luput dari salah dan lupa sehingga penulis sangat menerima adanya kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Semoga hasil dari penelitian pada skripsi ini dapat memberikan manfaat kepada semua pihak.

Jember, Januari 2016

Penulis

DAFTAR ISI

| | |
|--|------|
| HALAMAN JUDUL | i |
| PERSEMBAHAN | ii |
| MOTTO | iii |
| PERNYATAAN | iv |
| PEMBIMBING | v |
| PENGESAHAN | vi |
| RINGKASAN | vii |
| PRAKATA | ix |
| DAFTAR ISI | xi |
| DAFTAR GAMBAR | xiii |
| DAFTAR TABEL | xv |
| BAB1. PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1. Latar Belakang | 1 |
| 1.2. Rumusan Masalah | 2 |
| 1.3. Batasan Masalah..... | 3 |
| 1.4. Tujuan dan Manfaat..... | 3 |
| 1.4.1 Tujuan | 3 |
| 1.4.2 Manfaat | 3 |
| BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA | 5 |
| 2.1. Tinjauan Umum Plastik..... | 5 |
| 2.1.1 Termoplastik | 6 |
| 2.1.2 Polietilena (PE) | 6 |
| 2.2. Kemasan Botol | 8 |
| 2.3. Blow Moulding..... | 10 |
| 2.3.1 Jenis – jenis Blow Moulding..... | 10 |

| | |
|---|-----------|
| 2.3.2 Mesin Blow Moulding | 13 |
| 2.3.3 Mekanisme Kerja Mesin Blow Moulding Secara Umum | 14 |
| 2.4. Waktu Siklus (Cycle Time) | 17 |
| 2.5. Regulator Udara Bertekanan | 18 |
| 2.6. Desain Ekperimen | 18 |
| 2.7. Metode Respon Permukaan..... | 19 |
| 2.7.1. Definisi..... | 19 |
| 2.7.2. Bentuk Umum Permukaan Respon | 20 |
| 2.7.3. Rancangan Percobaan yang Sesuai untuk Permukaan Respon | 21 |
| 2.7.4. Desain Penelitian..... | 21 |
| 2.7.5. Kegunaan Permukaan Respon | 23 |
| 2.7.6. Pemodelan Permukaan Respon..... | 23 |
| 2.8. Arti Hipotesis | 24 |
| BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN..... | 26 |
| 3.1. Metode Penelitian..... | 26 |
| 3.2. Waktu dan Tempat Penelitian | 26 |
| 3.2.1. Waktu Penelitian..... | 26 |
| 3.2.2. Tempat Penelitian | 26 |
| 3.3. Bahan dan Alat Penelitian | 26 |
| 3.3.1. Bahan | 26 |
| 3.3.2. Alat..... | 26 |
| 3.4. Variabel Penelitian | 28 |
| 3.4.1. Variabel Bebas | 28 |
| 3.4.2. Variabel Terikat | 28 |
| 3.5. Prosedur Penelitian..... | 29 |
| 3.5.1. Tahapan Penelitian Produksi Botol 50ml..... | 29 |
| 3.5.2. Penyajian Data Hasil Penelitian | 30 |
| 3.5.3. Pengolahan Data..... | 31 |
| 3.5.4. Pengujian Data | 31 |

| | |
|---|-----------|
| 3.5.5. Optimasi Respon | 35 |
| 3.6. Hipotesa Penelitian | 37 |
| 3.7. Diagram Alur Penelitian | 38 |
| BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN | 39 |
| 4.1. Data Percobaan | 39 |
| 4.2. Analisis Untuk Cycle Time | 41 |
| 4.2.1. Analisis Data Statistik | 41 |
| 4.2.1.1 Pembentukan Model | 41 |
| 4.2.1.2 Pemeriksaan Asumsi Residual | 43 |
| 4.2.1.3 Pengujian Kesesuaian Model | 44 |
| 4.2.2. Analisis Teknis Untuk Cycle Time | 46 |
| 4.3. Analisis Untuk Netto | 49 |
| 4.3.1. Analisis Data Statistik | 49 |
| 4.3.1.1 Pembentukan Model | 50 |
| 4.3.1.2 Pemeriksaan Asumsi Residual | 51 |
| 4.3.1.3 Pengujian Kesesuaian Model | 52 |
| 4.3.2. Analisis Teknis Untuk Netto | 54 |
| 4.4. Analisis Untuk Volume | 57 |
| 4.4.1. Analisis Data Statistik | 57 |
| 4.4.1.1 Pembentukan Model | 57 |
| 4.4.1.2 Pemeriksaan Asumsi Residual | 59 |
| 4.4.1.3 Pengujian Kesesuaian Model | 60 |
| 4.4.2. Analisis Teknis Untuk Volume | 62 |
| 4.5. Optimasi Produksi | 64 |
| 4.6. Perbandingan Hasil Setting Standar dengan Hasil Setting Penelitian | 67 |
| BAB 5. PENUTUP | 69 |
| 5.1. Kesimpulan | 69 |
| 5.2. Saran | 69 |

DAFTAR PUSTAKA
LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

| | |
|---|----|
| 2.1 Klasifikasi Plastik | 5 |
| 2.2 Struktur Rantai Polietilena | 7 |
| 2.3 Bagian – Bagian Kemasan Botol | 8 |
| 2.4 Proses Extrusion Blow Moulding | 11 |
| 2.5 Proses Injection Blow Moulding | 12 |
| 2.6 Proses Stretch Blow Moulding | 13 |
| 2.7 Mesin Blow Moulding Single Station | 13 |
| 2.8 Mesin Blow Moulding Double Station | 14 |
| 2.9 Proses Pelelehan Biji Plastik Mesin Blow Moulding | 15 |
| 2.10 Proses Pencetakan dan Peniupan Produk | 16 |
| 2.11 Sistem Rotasi Cetakan pada Proses Pembentukan Produk | 17 |
| 2.12 Mekanisme Kerja Regulator udara Bertekanan | 18 |
| 2.13 Ilustrasi Plot Permukaan Respon | 20 |
| 2.14 Box Behnken Untuk Tiga Faktor | 23 |
| 3.1 Timbangan Digital | 27 |
| 3.2 Leak Tester Detector | 28 |
| 3.3 Skema Penelitian | 38 |
| 4.1 Chalibration Unit Mesin Blow Moulding | 47 |
| 4.2 Komponen Mesin Blow Moulding | 48 |
| 4.3 Cetakan pada Mesin Blow Moulding | 55 |
| 4.4 Bentuk Parrison | 56 |
| 4.5 Grafik Kombinasi Variabel – Variabel Proses yang Menghasilkan Respon Optimum | 66 |

DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| 2.1 Titik Leleh Termoplastik | 6 |
| 2.2 Pengambilan Keputusan Uji Hipotesis | 25 |
| 3.1 Level yang Digunakan | 28 |
| 3.2 Rancangan Percobaan Box-Behnken dengan $k = 3$ | 30 |
| 3.3 ANAVA untuk Uji Signifikansi Regresi Desain Eksperimen | 33 |
| 4.1 Data Hasil Percobaan Produksi Botol 50 ml..... | 39 |
| 4.2 Hasil Rata – Rata Percobaan Produksi Botol 50 ml | 40 |
| 4.3 Koefisien Penduga untuk Cycle Time..... | 42 |
| 4.4 Analysis of Variance untuk Cycle Time | 44 |
| 4.5 Koefisien Penduga untuk Netto | 50 |
| 4.6 Analysis of Variance untuk Netto | 52 |
| 4.7 Koefisien Penduga untuk Volume | 58 |
| 4.8 Analysis of Variance untuk Volume | 60 |
| 4.9 Nilai Global Solution dari Pendekatan Fungsi Desirability | 65 |
| 4.10 Kombinasi Variabel Proses yang Menghasilkan Respon Optimum | 66 |
| 4.11 Perbandingan Setting Standar Pabrik dengan Hasil Penelitian..... | 67 |

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dewasa ini perkembangan teknologi pada industri kemasan plastik sangat pesat, dimana perkembangan teknologi ini diikuti dengan meningkatnya kuantitas produksi dengan mempercepat waktu siklus produksi. Hal ini dapat dilihat dengan meningkatnya pula permintaan produk plastik di Indonesia yang sekitar 3,6 juta ton per tahun dengan pertumbuhan rata-rata 5% per tahun, dimana porsi terbesar (40%) adalah untuk plastik kemasan (Faisal dkk, 2012).

Berdasarkan data dari INAPLAS (*Indonesian Olefin Aromatic Plastic Industry*) kebutuhan plastik masyarakat Indonesia pada tahun 2012 tercatat 2,9 juta ton, pada 2013 tercatat 3,2 juta ton dan pada 2014 tercatat 3,6 juta ton. Diperkirakan akan mengalami peningkatan hingga sekitar 4 juta ton pada tahun 2015 mendatang (Budi, 2014)

Waktu siklus produksi pada mesin blow moulding merupakan waktu sirkulasi (perputaran) yang dibutuhkan mesin untuk menghasilkan satu produk, yang pada intinya diawali dengan penutupan mold sampai dengan penutupan mold berikutnya (Kristiyantoro, 2009). Untuk pengoptimalan waktu siklus biasanya digunakan metode respon permukaan, yaitu menganalisis hubungan antara variabel respon dengan variabel input (Montgomery, 2001:427).

Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Kumar *et al*, 2015) yang berjudul *Time-Based Optimization of Injection Moulding Process Using Response Surface Methodology* menjelaskan bahwa parameter penyusun waktu siklus produksi pada proses *Injection moulding*, yaitu *Filling time*, *Refill time*, *Tonnage time* dan *Ejector retraction time* memiliki pengaruh yang signifikan terhadap waktu siklus produksi.

Berdasarkan penelitian Kristiyantoro (2009) yaitu tentang optimasi waktu siklus pembuatan kemasan produk *chammomile* 120 ml dengan proses *blow moulding* membuktikan bahwa terdapat pengaruh yang signifikan dari parameter *blowing time*,

blowing pressure dan *stop time* terhadap waktu siklus produksi dan kualitas produk yaitu berupa nilai *netto* atau berat produk. Terjadi penurunan dari waktu siklus yang sebelumnya 23 detik menjadi 20,5 detik dan penurunan dari *netto* yang sebelumnya 19,25 gram menjadi 19,19 gram, ini merupakan hasil dari kombinasi parameter *blowing pressure* sebesar 5,1 bar, *blowing time* sebesar 11,35 detik dan *stop time* sebesar 0,1 detik.

Penelitian serupa juga dilakukan oleh (Mustofa A, dkk, 2014) yang dilakukan di PT. Rexam Packaging Indonesia, terdapat pengaruh yang signifikan dari parameter *blowing time*, *blowing pressure* dan *stop time* terhadap waktu siklus produksi dan kualitas produk berupa nilai diameter *snap* botol. Untuk mendapatkan waktu siklus (*cycle time*) yang optimal pada pembuatan produk DK 8521 B yaitu sebesar 11,9237 detik dibutuhkan parameter *blowing pressure* sebesar 7 bar, *blowing time* sebesar 7,52192 detik dan *stop time* sebesar 0,158796 detik.

Dengan penelitian saya yang berjudul optimasi waktu siklus produksi botol 50 ml pada proses *blow moulding* dengan metode respon permukaan ini diharapkan dapat memberikan gambaran untuk mengetahui pengaruh parameter *stop time*, *blowing time*, dan *blowing pressure* yang ada pada proses *blow moulding* untuk produksi botol 50 ml, sehingga nantinya didapatkan hasil kemasan produk yang optimal, baik dari segi kuantitas maupun kualitas.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka dapat dirumuskan masalah dalam penelitian yang akan saya lakukan yaitu bagaimana pengaruh nilai parameter *stop time*, *blowing time*, dan *blowing pressure* terhadap optimasi waktu siklus produksi dengan tetap memenuhi nilai standar pabrik yang sudah ada yaitu nilai berat *netto* dan nilai *volume* produk menggunakan metode respon permukaan.

1.3 Batasan Masalah

Beberapa batasan yang diterapkan untuk memudahkan analisa penelitian ini antara lain :

1. Perhitungan optimasi menggunakan metode respon permukaan dengan parameter *stop time*, *blowing time*, dan *blowing pressure*.
2. Tidak membahas proses kimia material plastik.
3. Penelitian yang dilakukan terbatas dengan peralatan yang ada dan dianggap standar.
4. Alat ukur yang digunakan telah terkalibrasi dengan baik.
5. Menggunakan mesin blow moulding dengan tipe SMC 1500-3
6. Bahan yang digunakan adalah HDPE (*High Density Polyethylene*)

1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian

1.4.1 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah, maka tujuan penelitian kali ini adalah :

1. Untuk mengetahui pengaruh dari *stop time* terhadap masing – masing parameter respon, yaitu *cycle time*, *netto* dan *volume* melalui teori statistik metode respon permukaan.
2. Untuk mengetahui pengaruh dari *blowing time* terhadap masing – masing parameter respon, yaitu *cycle time*, *netto* dan *volume* melalui teori statistik metode respon permukaan.
3. Untuk mengetahui pengaruh dari *blowing pressure* terhadap masing – masing parameter respon, yaitu *cycle time*, *netto* dan *volume* melalui teori statistik metode respon permukaan.
4. Untuk mendapatkan nilai optimasi dari *cycle time* dengan tetap memenuhi nilai standar *netto* dan *volume* dari kombinasi nilai parameter *stop time*, *blowing time*, dan *blowing pressure* melalui teori statistik metode respon permukaan.

1.4.2 Manfaat Penelitian

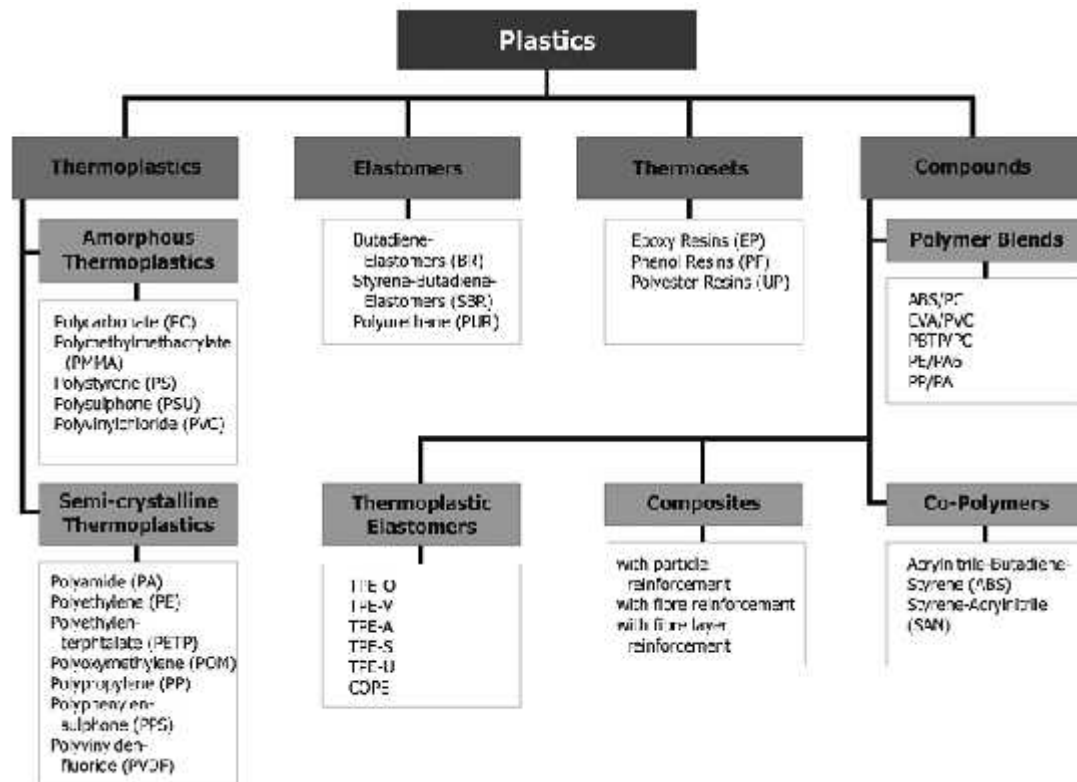
Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Dapat mengetahui penerapan teori optimasi metode respon permukaan.
2. Dapat mengoptimalkan waktu siklus produksi botol 50 ml pada mesin *blow moulding*.
3. Dapat mengetahui pengaruh parameter (*stop time*, *blowing time*, dan *blowing pressure*) terhadap optimasi waktu siklus produksi botol 50 ml.
4. Dapat meningkatkan kuantitas produksi dengan tetap menjaga kualitas produk botol 50ml.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum Plastik

Plastik digolongkan menjadi 4 macam, yaitu: *thermosets*, *thermoplastics*, *elastomers* dan *compound*, dapat dilihat pada Gambar 2.1. Termoplastik merupakan jenis plastik yang dapat mencair dengan pemanasan dan mengeras kembali dengan pendinginan tanpa perubahan signifikan dari sifat mekanik. Elastomer adalah jenis plastik yang memiliki renda silang yang lebar antar molekul, biasanya tidak dapat dicairkan tanpa degradasi struktur molekul. Termoset adalah jenis plastik yang memiliki sifat fisik yang keras dan getas, Sedangkan plastik *compound* adalah plastik yang dihasilkan dari campuran polimer yang berbeda untuk mendapatkan sifat khusus, yaitu seperti elastisitas (Klein. R, 2011).



Gambar 2.1 klasifikasi plastik (Klein. R, 2011)

2.1.1 Termoplastik

Termoplastik adalah bahan yang tidak mengalami perubahan kimia sewaktu pembentukan yang hasil akhirnya adalah sama seperti asli kecuali bentuknya. Bahan termoplastik dapat dilunakkan dan dibentuk berulang-ulang dengan cara pemanasan. Termoplastik dapat mengeras setelah pencetakan dan larut dalam larutan organik. Seluloid, selulosa nitrat, resin vinil, nilon, polikarbonat, polieten dan polystyrene merupakan contoh bahan termoplastik yang sering digunakan (Sinaga, 2011). Berikut dijelaskan titik leleh pada termoplastik pada Tabel 2.1

Tabel 2.1 Titik leleh termoplastik (Kristiyantoro, 2011)

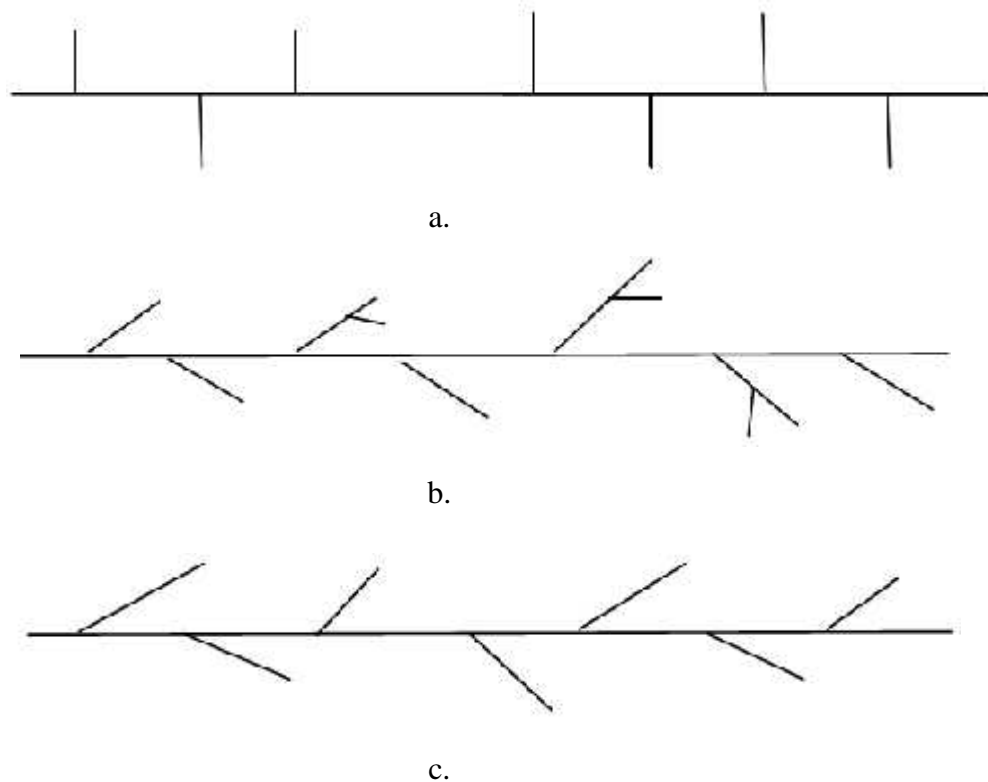
| Material | °C | °F |
|--|-----------|-----------|
| <i>Polyethylene-low density (LDPE)</i> | 149 – 232 | 300 - 450 |
| <i>Polyethylene-high density (HDPE)</i> | 177 – 260 | 350 –500 |
| <i>Polypropylene (PP)</i> | 190 – 288 | 374 – 550 |
| <i>Acrylonitrile butadiene styrene (ABS)</i> | 117 – 260 | 350 – 500 |
| Nylon | 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 Polietilena (PE)

Polietilena adalah bahan termoplastik yang transparan, berwarna putih yang mempunyai titik leleh bervariasi antara 140-260°C. Umumnya polietilen bersifat resisten terhadap zat kimia. Pada suhu kamar, polietilena tidak larut dalam pelarut organik dan anorganik. (Sinaga, 2011) Beberapa jenis polietilena antara lain : Low Density Polyethylene (LDPE), High Density Polyethylene (HDPE) dan Linear Low Density Polyethylene (LLDPE) (Sinaga, 2011).

Dapat dilihat pada Gambar 2.2. Low Density Polyethylene (LDPE) memiliki struktur rantai bercabang yang tinggi dengan cabang-cabang yang panjang dan pendek. Sedangkan High Density Polyethylene (HDPE) mempunyai struktur rantai

lurus, Linear Low Density Polyethylene (LLDPE) memiliki rantai polimer yang lurus dengan rantai-rantai cabang yang pendek (Sinaga, 2011).



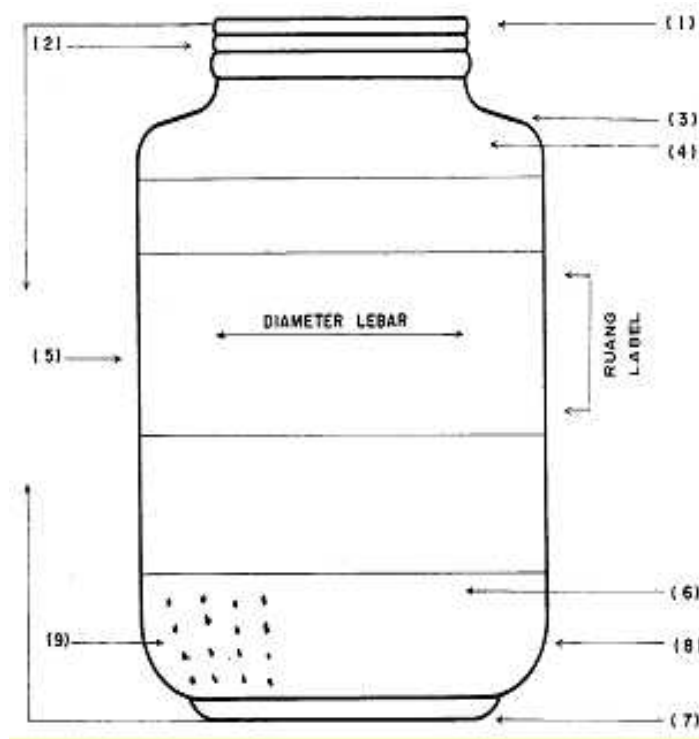
Gambar 2.2 Struktur rantai polietilena a. HDPE, b. LDPE, c. LLDPE (Sinaga, 2011)

HDPE didefinisikan mempunyai kepadatan yang tinggi atau sama dengan $0,941 \text{ g/cm}^3$. HDPE memiliki derajat percabangan yang rendah sehingga gaya antar molekul dan kekuatan tariknya juga rendah, material HDPE ini bersifat kuat, rapat dan strukturnya mudah diatur. Sedangkan LDPE didefinisikan mempunyai kepadatan $0,915 \text{ g/cm}^3$, secara substansial merupakan polimer dengan sejumlah besar percabangan pendek dan LDPE memiliki kekuatan tarik yang lebih tinggi dibandingkan dengan HDPE. Material LDPE ini memiliki sifat yang lunak dan fleksibel. Untuk penggunaannya polietilena dengan densitas rendah biasanya digunakan untuk lembaran tipis pembungkus makanan, kantung-kantung plastik, jas

hujan. Sedangkan untuk polietilena yang memiliki densitas tinggi, polimernya lebih keras, namun mudah dibentuk sehingga banyak dipakai sebagai alat dapur misalnya ember, juga untuk pelapis kawat dan kabel (Sinaga, 2011).

2.2 Kemasan botol

Botol merupakan salah satu bentuk kemasan yang mempunyai ciri bagian leher bulat dan menyempit untuk memudahkan penuangan isi dan memiliki lubang mulut yang sempit untuk memperkecil ukuran tutup. Contoh botol kemasan air mineral. Adapun bagian – bagian dari kemasan botol dapat dilihat pada Gambar 2.3 (Masykuri, 2003).



Gambar 2.3 Bagian – bagian kemasan botol (Masykuri, 2003)

Keterangan :

- 1.) Penutup
- 2.) Leher (*neck*)
- 3.) Bahu (*shoulder*)

- 4.) Batas pegas bagian atas (*top spring line*)
- 5.) Badan (*side wall*)
- 6.) Batas pegas bagian bawah (*bottom spring line*)
- 7.) Dasar
- 8.) Tumit (*heel*)
- 9.) *Stippling*

Pada bagian penutup hingga leher adalah bagian yang menentukan ukuran untuk penutup botol (*cap*), kemudian pada bagian bahu, dinding botol hingga bagian dasar botol adalah bagian yang menunjang sisi estetika dan sisi ergonomis dari botol dimana ketebalan pada bagian ini menentukan daya tampung dan berat pada botol

Terdapat beberapa tahapan dalam merancang suatu kemasan botol, yaitu (Yam, 2009):

- 1.) Memperhatikan persyaratan standar botol, bahan - bahan yang akan terkandung pada produk, penggunaan, pendistribusian, estetika, dan isu-isu lingkungan.
- 2.) Menentukan proses manufaktur yang dipilih dan memilih jenis cetakan.
- 3.) Memilih Bahan
- 4.) Menggambar kasar profil botol
- 5.) Menggambar bagian – bagian detail botol
- 6.) Membuat model / *Prototype*
- 7.) Menggambar *mold* / cetakan
- 8.) Membuat *cavity*
- 9.) Pengujian *cavity*
- 10.) Finalisasi gambar
- 11.) Memproduksi *mold*
- 12.) Pengujian *mold*
- 13.) Mulai Produksi.

Untuk mendesain sebuah botol digunakan acuan standart, dimana untuk standart industri yang digunakan saat ini adalah ASTM D2911-94(2005) yaitu standart untuk spesifikasi dimensi dan toleransi untuk botol palstik (Yam, 2009).

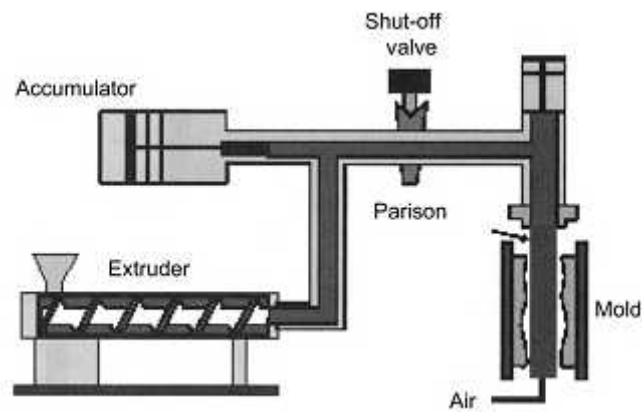
2.3 Blow Moulding

2.3.1 Jenis – jenis *blow moulding*

Dalam prosesnya, *blow moulding* dibagi menjadi tiga yaitu *Extrusion blow moulding*, *Injection blow moulding* dan *Stretch blow moulding*.

a.) *Extrusion blow moulding*

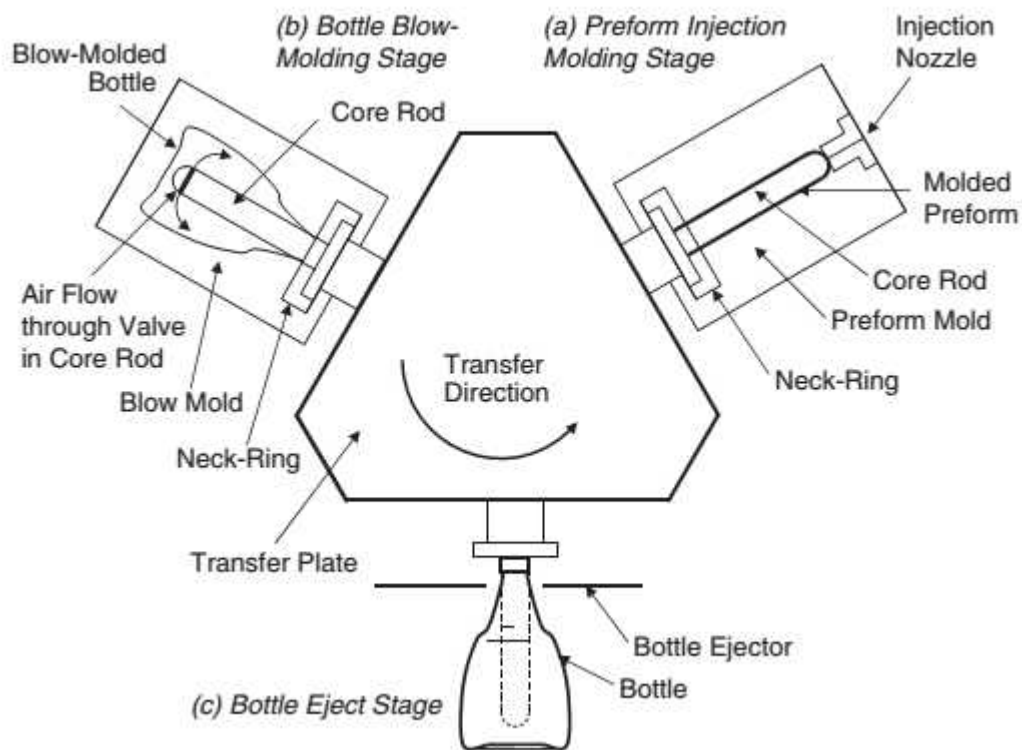
Proses pada *Extrusion blow moulding* dimulai pada saat plastik leleh dikirimkan melalui extruder menuju accumulator, dimana material tersebut berbentuk panjang dan berlubang disebut *parrison*. Kemudian cetakan menutup dan udara ditekan ke bagian tengah dari *parrison* hingga berbentuk seperti cetakan. Setelah selesai, udara bertekanan berhenti meniup dan hasil cetakan keluar atau proses *eject*. Proses ini berkelanjutan dengan *parrison* baru dari accumulator. Beberapa parameter yang bekerja pada proses ini antara lain adalah *blowing pressure* yaitu besarnya tekanan yang diberikan kepada *parrison* agar dapat mengembang sesuai dengan cetakan, *blowing time* yaitu waktu yang dibutuhkan untuk proses meniup, *movement time* yaitu waktu pada saat terjadi gerakan dari komponen - komponen dari mesin *blow moulding* dan *stop time* yaitu waktu jeda / berhenti sejenak yang terjadi pada saat *blowpin* selesai melakukan meniup hingga cetakan terbuka Gambar 2.4 menjelaskan mekanisme kerja *Extrusion blow moulding* (Harold F, 2014).



Gambar 2.4 Proses *Extrusion - Blow moulding* (Harold F, 2014)

b.) *Injection blow moulding*

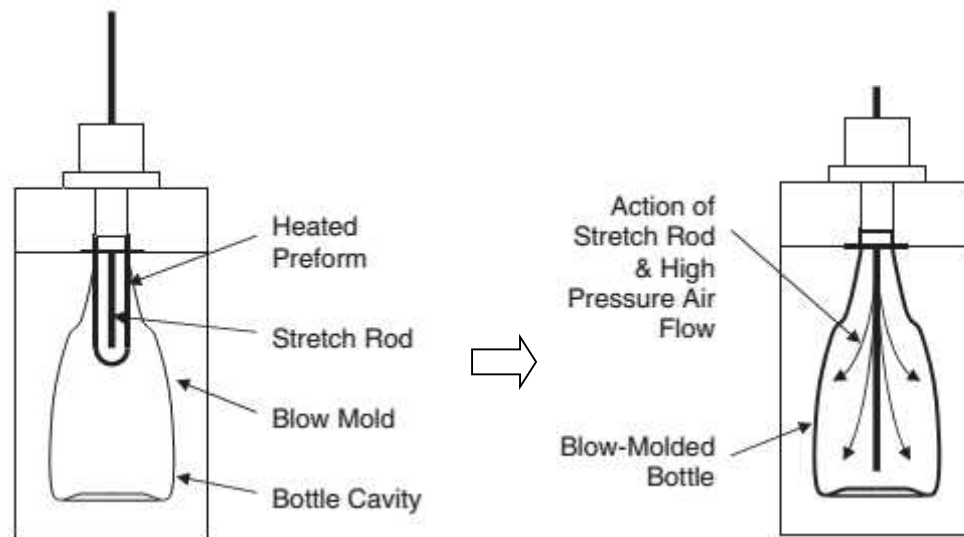
merupakan proses dengan cara menyuntikkan plastik leleh ke dalam cetakan tertutup yang memiliki rongga dan batang inti untuk membuat bagian yang ingin dicetak terlebih dahulu (berbentuk preform memiliki yang terpisahkan dari leher hingga ujung atas botol). Pada saat preform masih panas, mesin cetak injeksi memindahkan preform pada batang inti untuk membentuk rongga botol kemudian udara bertekanan melewati katup di batang inti untuk meniup preform, sesuai dengan bentuk permukaan rongga cetakan (Yam, 2009). Seperti yang telah digambarkan pada Gambar 2.5



Gambar 2.5 proses *Injection - Blow moulding* (Yam, 2009)

c.) *Stretch blow moulding*

Merupakan proses *blow moulding* yang telah dimodifikasi untuk mencapai dan mempertahankan keselarasan rantai polimer pada kemasan botol yang dibuat. Yaitu dengan cara merenggangkan preform terlebih dahulu kemudian di tiup dengan udara bertekanan. Biasanya proses ini digunakan untuk membuat kemasan yang memiliki kapasitas yang besar (Yam, 2009). Untuk prosesnya dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Proses *Stretch – Blow moulding* (Yam, 2009)

2.3.2 Mesin *blow moulding*

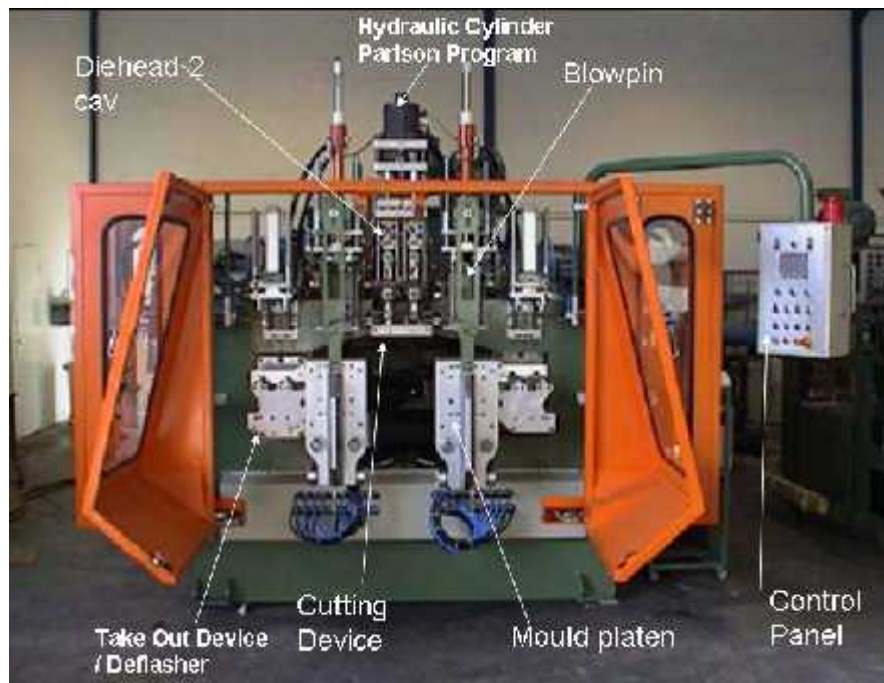
Mesin blow moulding dibagi menjadi dua jenis yaitu *single station* dan *double station*, berikut penjelasannya :

a.) Mesin *blow moulding single station*



Gambar 2.7 Mesin *blow moulding single station* (Subagyo, 2007)

b.) Mesin *blow moulding double station*



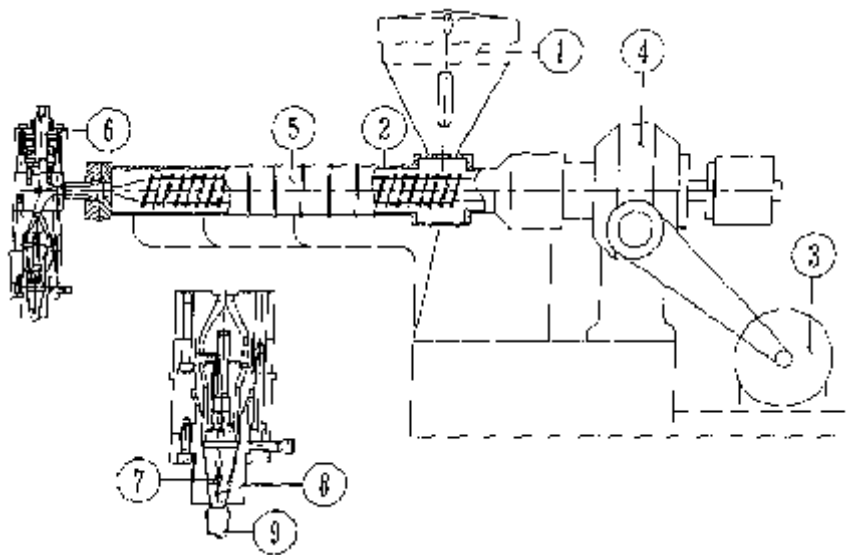
Gambar 2.8 Mesin *blow moulding double station* (Subagyo, 2007)

Cara kerja dari kedua jenis mesin *blow moulding* ini sebenarnya sama, dimana mekanismenya menggunakan *pneumatic* untuk menjalankan kerja dari *blowing system*, *deflashing unit* dan *cutting unit*, sementara sisanya digerakkan menggunakan sistem *hydraulic*. Perbedaan dari kedua mesin ini hanya pada jumlah *wagon / mould platen* dan *blow pin*. Dimana mesin *blow moulding double station* memiliki kapasitas produksi yang lebih besar (Subagyo, 2007).

2.3.3 Mekanisme kerja mesin *blow moulding* secara umum

Pencetakan dengan cara tiup yang disebut *blow moulding* diawali dengan proses pemanasan bahan baku plastik hingga mencapai temperatur leleh di dalam *barrel*. Di dalam *barrel* terdapat *screw* yang berputar secara terus-menerus hingga kedalam suatu celah yang berpenampang cincin yaitu antara *pin* dan *die*. Kemudian dari celah tersebut plastik yang sudah leleh keluar berbentuk selongsong (*parisson*)

dengan ukuran diameter yang sudah ditentukan oleh *pin* dan *die*. Setelah itu selongsong (*parisson*) tersebut ditangkap dan dijepit oleh *mold* dan ditiup dengan tekanan tertentu oleh *blowpin* sehingga selongsong tersebut mengembang dan menempel pada dinding-dinding rongga *cavity*. Tiupan dipertahankan untuk beberapa saat sampai proses pendinginan dari dinding selongsong yang menempel pada dinding *cavity* berlangsung. Setelah plastik menjadi solid dan cukup kuat tiupan dihentikan. Kemudian produk dikeluarkan dari dalam *mold* (Subagyo, 2007).

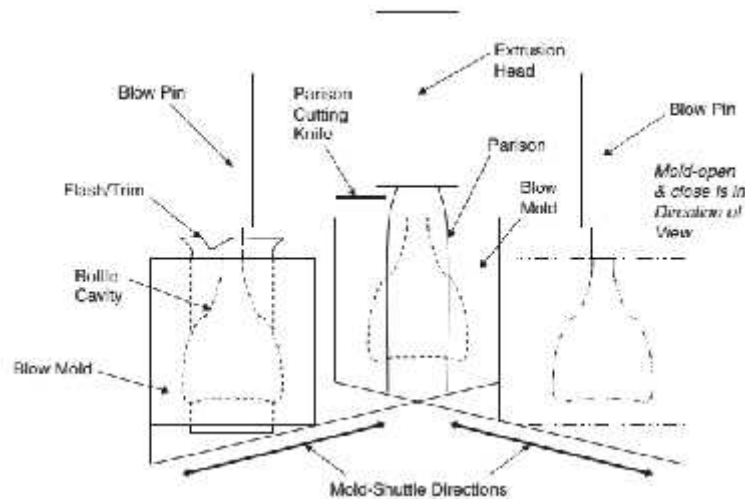


Gambar 2.9 Proses pelelehan bijih plastik mesin *Blow Moulding* (Subagyo, 2007)

Gambar 2.9 di atas adalah mekanisme mesin *blow moulding* yang menjelaskan tentang proses bijih plastik yang masih berbentuk butiran (*granule*) sampai dengan proses pembentukan *parisson*. *Extruder* (2) diputar secara terus-menerus oleh motor penggerak (3) setelah melewati transmisi (4). Karena putaran *extruder*, *granule* dalam *hopper* (1) turun ke bawah masuk ke dalam *barrel* dan didorong ke kiri oleh putaran *extruder*. Sepanjang dinding *barrel* dipasang beberapa pemanas (5). Pada pemanas tersebut suhunya diatur sedemikian rupa mencapai suhu *melting* dari material plastik. Semakin ke kiri pengaturan suhunya semakin tinggi. Plastik yang sudah mencapai *melt* terdorong ke dalam *die head* (6). Pada ujung *die*

head terdapat *pin* (7) dan *die* (8). Plastik leleh mengalir melalui celah antara *pin* dan *die*. Karena celah antara *pin* dan *die* berpenampang cincin maka setelah material plastik melewati celah ini akan berbentuk selongsong (*parisson*) (9) yang mengalir secara terus-menerus sesuai putaran *extruder*.

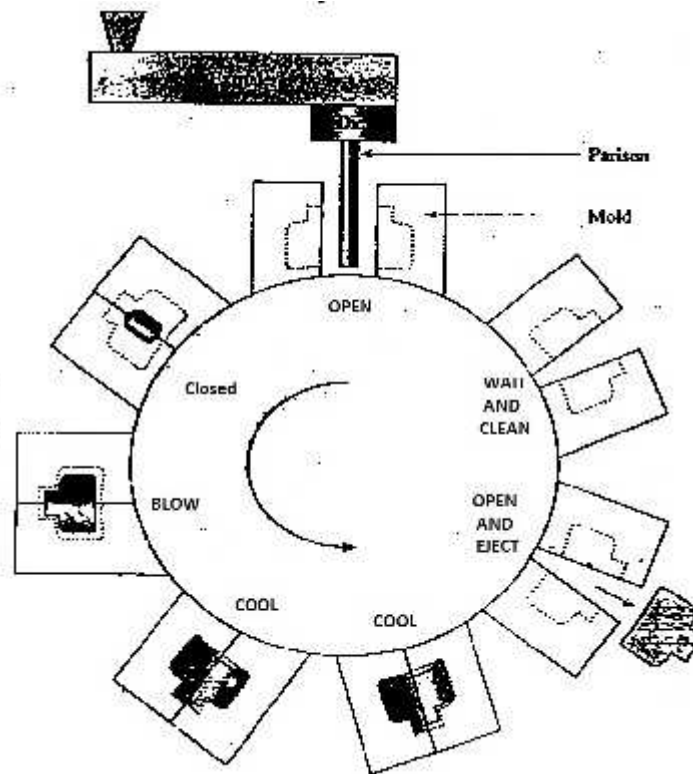
Setelah proses pembentukan *parisson*, tahap selanjutnya adalah proses pencetakan (*moulding*) dan peniupan (*blowing*). Gambar 2.10 di bawah ini menunjukkan proses pencetakan dan peniupan.



Gambar 2.10 Proses Pencetakan dan Peniupan Produk (Yam, 2009)

Setelah pembentukan *parisson*, *parisson* berada di dalam cetakan dan kemudian ditiup sehingga plastik mengembang dan menekan dinding *cavity*. Peniupan dilakukan melalui *pin* yang dimasukkan melalui celah botol. proses peniupan *parisson* dapat dilihat pada gambar 2.10. Proses pendinginan di dalam cetakan dan kemudian dikeluarkan (*eject*). Proses akhir adalah proses penyempurnaan. Pada proses ini *parisson* yang belum sempurna di tutup dengan penjepit. Bentuk yang belum sempurna tersebut harus dihilangkan dengan cara memotong bagian *parisson* yang tidak dibutuhkan (Kristiyantoro, 2009).

2.4 Waktu Siklus (*cycle time*)



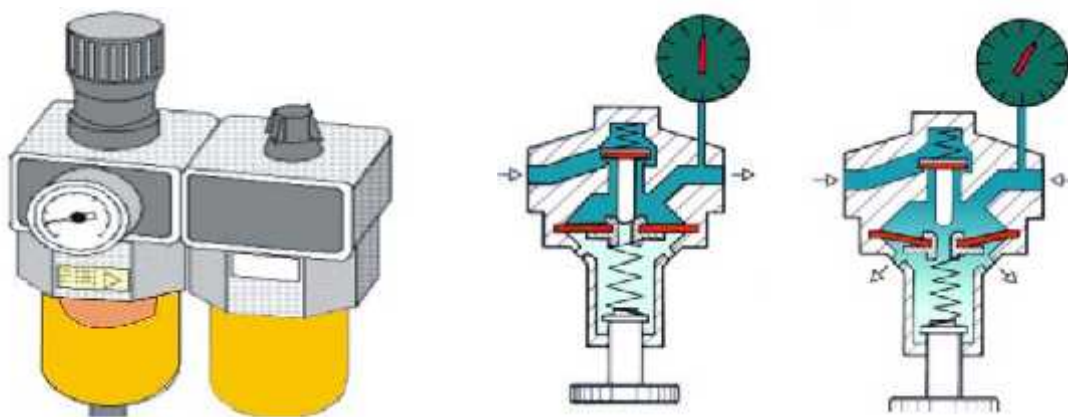
Gambar 2.11 Sistem Rotasi Cetakan Pada Proses Pembentukan Produk
(Kristiyantoro, 2009)

Waktu siklus adalah waktu yang dibutuhkan untuk membuat suatu produk dalam satu periode. Diawali dengan pembukaan cetakan kemudian diikuti oleh penurunan *parisson*, dimana kemudian *parisson* ditangkap oleh cetakan dan *blow pin* masuk ke dalam cetakan untuk melakukan proses peniupan, waktu untuk proses peniupan ini yang disebut dengan *blowing time* dengan tekanan (*blowing pressure*) tertentu hingga *parisson* mengembang mengikuti bentuk dari cetakan, pada proses ini dilakukan juga proses *cooling* seperti terlihat pada gambar diatas. Setelah proses peniupan dan *cooling*, *blow pin* keluar, cetakan terbuka dan produk keluar, terdapat waktu jeda / berhenti sebentar pada saat *blow pin* keluar hingga cetakan terbuka dan

eject / keluarnya produk. Waktu jeda / berhenti sebentar inilah yang disebut *stop time*. kemudian terjadi proses seperti di atas begitu seterusnya. Sesuai dengan Gambar 2.11 diatas, Intinya satu waktu siklus produksi adalah diawali dengan penutupan *mold* sampai dengan penutupan *mold* berikutnya.

2.5 Regulator Udara Bertekanan

Regulator Udara Bertekanan adalah salah satu komponen mesin yang memiliki fungsi sebagai pengatur masuknya udara bertekanan pada suatu mesin, cara kerjanya yaitu ketika melakukan perubahan pengaturan pada regulator udara bertekanan maka katup pada regulator tersebut akan bergerak membuka pada saat handle diputar berlawanan dengan arah jarum jam dan menutup pada saat handle diputar searah dengan jarum jam , dapat dilihat pada gambar 2.12 mekanisme kerja regulator udara bertekanan.



Gambar 2.12 Mekanisme kerja regulator udara bertekanan (Wirawan, 2012)

2.6 Desain Eksperimen

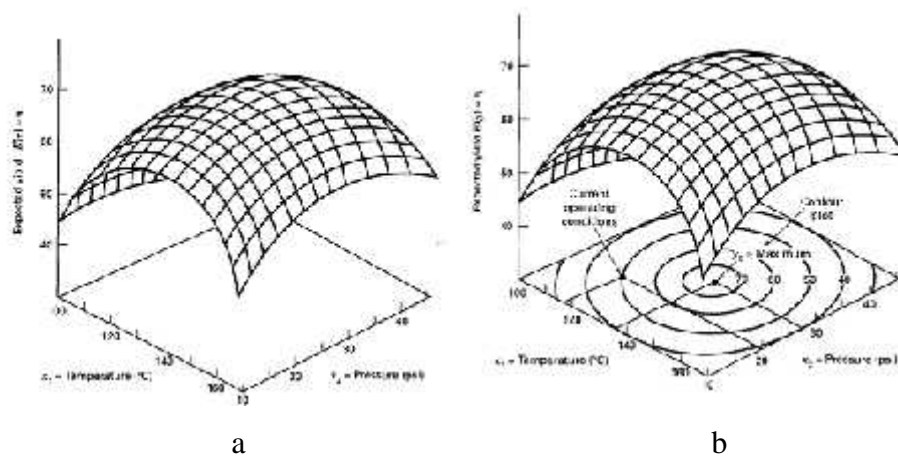
Desain eksperimen adalah suatu rancangan percobaan (dengan tiap langkah tindakan yang betul-betul terdefiniskan) sehingga informasi yang berhubungan dengan atau diperlukan untuk persoalan yang sedang diteliti dapat dikumpulkan.

Dengan kata lain, desain sebuah eksperimen merupakan langkah-langkah lengkap yang perlu di ambil jauh sebelum eksperimen dilakukan agar data yang seharusnya diperlukan dapat tercapai sehingga akan membawa kepada analisis obyektif dan kesimpulan yang berlaku untuk persoalan yang sedang dibahas. Dan tujuan dari desain eksperimen adalah untuk memperoleh atau mengumpulkan informasi yang diperlukan sebanyak-banyaknya dan berguna dalam melakukan penelitian persoalan yang akan dibahas (Sudjana, 1994).

2.7 Metode Respon Permukaan

2.7.1 Definisi

Metode respon permukaan atau yang sering disingkat RSM (*Response Surface Methodology*) adalah teknik matematika dan statistika yang berguna untuk memodelkan dan menganalisis data dimana respon yang diteliti dipengaruhi oleh beberapa variabel dan bertujuan untuk mengoptimalkan respon (Montgomery, 2001). Pada umumnya, permukaan respon digambarkan dengan sebuah grafik, seperti yang tampak pada Gambar 2.13 (a). Untuk membantu visualisasi dari bentuk permukaan plot, sering digunakan kontur dari permukaan respon, seperti yang terlihat pada Gambar 2.13 (b) Pada kontur tersebut, garis respon yang konstan berada pada permukaan datar (x_1, x_2), sedangkan garis respon yang lain berada pada permukaan lengkung di atasnya.



Gambar 2.13 (a) ilustrasi plot permukaan respon. (b) ilustrasi plot kontur permukaan respon (Faulina, 2011)

2.7.2 Bentuk umum permukaan respon

Untuk suatu eksperimen yang melibatkan k buah faktor atau biasa disebut dengan variabel bebas, prediktor atau kadang – kadang juga variabel kontrol (X_1, X_2, \dots, X_k) dan dengan Y sebagai variabel terikat atau variabel respon, maka dikatakan bahwa Y adalah fungsi dari X_1, X_2, \dots, X_k dan secara umum dapat ditulis dalam bentuk $Y = f(X_1, X_2, \dots, X_k)$ inilah yang selanjutnya akan disebut sebagai permukaan respon. Untuk $k = 1$, diperoleh $Y = f(X)$. Permukaan respon ini secara grafik dapat digambarkan dalam ruang berdimensi, suatu ruang yang sukar dilukiskan dan barangkali hanya bisa dibayangkan. Untuk $k = 2$ misalnya, berarti terdapat variabel bebas X_1 dan X_2 , maka secara umum diperoleh permukaan respon $Y = f(X_1, X_2)$. Grafiknya dapat dilukiskan dalam ruang berdimensi tiga dengan mengambil absis X_1 , ordinat X_2 dan sumbu Y tegak lurus pada bidang $X_1 X_2$. Karena hasilnya berupa grafik pada ruang berdimensi tiga yang sulit digambarkan pada kertas (ruang berdimensi dua), maka kita buat grafik dengan cara berikut. Kita ambil permukaan respon $Y = f(X_1, X_2)$, bentuk ini kita potong oleh bidang datar, sejajar dengan bidang X_1, X_2 . Pada bidang potong itu terjadi lengkungan (tertutup, terbuka atau terputus – putus bergantung pada bentuk $Y = f(X_1, X_2)$, asalnya disebut dengan

kontur. Kontur inilah yang membantu pembahasan tentang permukaan respon. Dijelaskan dengan cara lain, kontur terbentuk jika titik - titik untuk semua harga Y yang sama untuk tiap pasang harga X_1 dan X_2 dihubungkan (Sudjana, 1994).

2.7.3 Rancangan Percobaan yang Sesuai untuk Permukaan Respon

Pemilihan rancangan percobaan yang sesuai beserta analisisnya untuk permukaan respon adalah hal yang sangat penting. Berikut ada beberapa kriteria dalam pemilihan rancangan percobaan yang sesuai untuk metode permukaan respon:

1. Memberikan gambaran distribusi dan informasi yang jelas berdasarkan data pada seluruh daerah yang difokuskan
2. Memungkinkan untuk mencari model yang memenuhi kelayakan model
3. Memungkinkan untuk membuat blok-blok dalam percobaan
4. Memungkinkan untuk membuat rancangan-rancangan yang mempunyai orde lebih tinggi
5. Memberikan perkiraan error dalam rancangan
6. Memberikan perkiraan koefisien model yang tepat
7. Memberikan perkiraan varians yang baik
8. Bersifat robust terhadap outliers maupun data hilang
9. Tidak membutuhkan unit percobaan yang besar
10. Tidak membutuhkan terlalu banyak level dalam variabel independen
11. Memberikan kemudahan dalam perhitungan parameter model

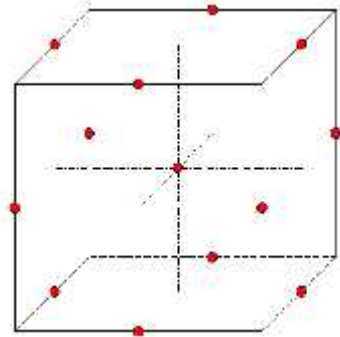
Kadang-kadang, kriteria diatas saling tidak mendukung, tetapi pemilihan rancangan harus tetap dilakukan sebaik mungkin. (Faulina, 2011)

2.7.4 Desain Penelitian

Eksperimen dari parameter-parameter yang ditentukan dianalisa dengan cara Central composite design dan Box-behnken. Ada beberapa hal yang perlu diperhatikan jika melakukan teknik analisa respon *surface*. Hal pertama yang perlu

adalah bentuk persamaannya apakah merupakan fungsi berorde satu atau fungsi berorde dua. Untuk fungsi yang berorde satu, rancangan percobaannya cukup dengan menggunakan 2^k faktorial dimana setiap perlakuan memiliki dua level perlakuan. Jika dibandingkan dengan rancangan respon surface yang berorde dua, maka rancangan respon *surface* berorde satu lebih sedikit membutuhkan unit percobaan, yaitu sebanyak 2^k unit percobaan dimana k menyatakan banyaknya faktor perlakuan. Untuk respon surface yang berorde dua, rancangan percobaannya bisa menggunakan *central composite design* (CCD) dan *Box-behnken design* (BBD) yang memerlukan jumlah unit percobaan lebih banyak daripada rancangan 2^k faktorial (Guilong, dkk, 2011).

1. *Central Composite Design*, yang direkomendasikan untuk desain eksperimen yang sekuensial (*sequential experiment*) atau perencanaan desain yang dilakukan secara berulang-ulang. Untuk desain dengan jumlah faktor yang sama, jumlah eksperimen yang dilaksanakan lebih banyak dibanding dengan *Box-Behnken Design*.
2. *Box-behnken design*, Salah satu perbedaan *box-behnken design* dengan *central composite design* adalah pada *box-behnken design* tidak ada axial/star runs pada rancangannya. Tidak adanya *axial/star runs* ini menyebabkan *box-behnken* lebih efisien dalam rancangan, karena melibatkan lebih sedikit unit percobaan. pada dasarnya *box-behnken* dibentuk berdasarkan kombinasi rancangan 2^k dengan *incomplete block design* dengan menambahkan center run pada rancangannya menurut (Guilong, dkk, 2011). Gambar 2.14 merupakan visual untuk rancangan *box-behnken* dengan 3 faktor.



Gambar 2.14 *Box-Behnken* untuk tiga faktor (Guilong, dkk, 2011)

2.7.5 Kegunaan permukaan respon

Telah dikatakan bahwa kontur – kontur membantu pembahasan permukaan respon lebih mudah untuk eksperimen yang menyebabkan permukaan respon terjadi. Secara lebih rinci, kegunaan permukaan respon dalam eksperimen adalah

- 1) Untuk menentukan, berdasarkan sebuah eksperimen, arah eksperimen berikutnya ke titik optimum
- 2) Setelah ditemukan optimum atau hampir optimum pada permukaan respon, menentukan persamaan permukaan respon di sekitar titik optimum ini.

Salah satu cara untuk mencari titik optimum pada permukaan respon, digunakan cara satu faktor – satu faktor. Jika X_2 tetap sedangkan X_1 berubah – ubah, kita cari X_1 yang membuat Y optimum pada harga X_2 yang tetap (Sudjana, 1994:363).

2.7.6 Pemodelan permukaan respon

Untuk menentukan persamaan permukaan respon, beberapa desain atau model telah dirumuskan agar dengan menggunakan eksperimen sesedikit mungkin persamaan tersebut dapat didekati. Dalam hal berdimensi dua, untuk permukaan respon paling sederhana modelnya adalah (Sudjana, 1994:364)

$$Y = S_0 + S_1X_1 + S_2X_2 + \dots + S_kX_k + v \dots\dots\dots(1)$$

- Dengan: Y = Variabel respon
 S_0 = konstanta
 S_i = Koefisien taksiran parameter model
 X_i = Nilai koding variabel bebas
 v = Residual dengan asumsi IIDN ($0, \sigma^2$)

Model diatas biasa disebut persamaan orde pertama, mengingat pangkat prediktor (X_1 dan X_2) besarnya satu.

Jika karena suatu kejelasan model permukaan respon tidak berorder satu seperti diatas, maka mungkin harus diambil model berorder dua yang bentuk umumnya

$$Y = S_0 + \sum_{i=1}^k S_i X_i + \sum_{i=1}^k S_{ii} X_i^2 + \sum_{i < j} S_{ij} X_i X_j + v \dots\dots\dots (2)$$

Jika $k = 3$ penduga untuk model orde kedua menjadi :

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + b_{11} X_1^2 + b_{22} X_2^2 + b_{33} X_3^2 + b_{12} X_1 X_2 + b_{13} X_1 X_3 + b_{23} X_2 X_3 \dots\dots\dots (3)$$

2.8 Arti Hipotesis

Hipotesis pada dasarnya merupakan proposisi atau anggapan yang mungkin benar dan sering digunakan sebagai dasar pembuatan keputusan atau dasar penelitian lebih lanjut. Hipotesis berupa anggapan/pendapat dapat didasarkan atas :

- a.) Teori
- b.) Pengalaman
- c.) Ketajaman berpikir, orang yang cerdas sering mempunyai pendapat tentang pemecahan suatu persoalan.

Hipotesis yang akan diuji diberi simbol H_0 (hipotesis awal) dan H_1 (hipotesis alternatif). H_1 otomatis akan diterima kalau H_0 ditolak. Perhatikan tabel 2.2 dibawah ini (Supranto, 1996).

Tabel 2.2 Pengambilan keputusan uji hipotesis (Supranto, 1996)

| Keputusan | Situasi | |
|--------------|--------------------------|---------------------------|
| | H_0 Benar | H_1 Benar |
| Terima H_0 | Keputusan Tepat (1-) | Kesalahan jenis II () |
| Tolak H_0 | Kesalahan jenis I () | Keputusan tepat (1-) |

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental, yaitu suatu metode yang digunakan untuk menganalisis laju nilai Cycle time (waktu siklus) dengan variasi nilai parameter *stop time*, *blowing time*, dan *blowing pressure*.

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

3.2.1 Waktu Penelitian

Pelaksanaan waktu penelitian ini dilakukan pada bulan Oktober – November 2015.

3.2.2 Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di PT. Berlina Tbk Jl. Pandaan - Malang KM 43 Kecamatan Pandaan Kabupaten Pasuruan Propinsi Jawa Timur.

3.3 Bahan dan Alat Penelitian

3.3.1 Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah *High Density Polyetilene* (HDPE) dengan komposisi 50 % bijih plastik murni, 50 % plastik *afval* atau *regrain* (sisa pembentukan botol yang tidak ikut dalam konstruksi dasar botol yang kemudian digiling dan diolah kembali sebagai campuran material murni).

3.3.2 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Mesin *blow moulding* tipe SMC 1500-3 yang memproduksi botol 50 ml. Mesin ini mempunyai spesifikasi sebagai berikut:

Data teknis mesin

- Merk : SMC 1500-3
 - *Machine width* : 3,55 m
 - *Machine length* : 4,55 m
 - *Machine height* : 2,60 m
 - Jumlah *Wagon* : 1
 - Jumlah *cavity* : 2
 - *Diameter Screw/ length* : 80 mm / 20 D
 - Kecepatan *Screw* : 30 - 70 rpm
 - *Heating zone* : 8 zones
 - *Main supply voltage* : 3 x 380 VAC 50 Hz
 - *Power Machine consumption* : 50,34 kW 92,15 A
 - *Hydraulic system pressure* : 80 – 100 bar
 - *Pneumatic system pressure* : 5 – 8 bar
 - *Cooling system pressure* : 2 – 3 bar
- b. *Stop watch* untuk mengukur kecepatan waktu siklus produksi pada mesin SMC 1500-3.
- c. Timbangan digital untuk menimbang berat produk atau *netto dan volume* dari botol 50 ml seperti pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Timbangan digital

- d. *Leak tester detector* untuk memeriksa adanya kebocoran / lubang pada produk botol 50 ml seperti pada gambar 3.2



Gambar 3.2 *Leak tester detector*

3.4 Variabel Penelitian

3.4.1 Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang bebas ditentukan oleh peneliti sebelum melakukan penelitian. Variabel bebas yang digunakan adalah Variasi *stop time*, *blowing time*, dan *blowing pressure*. Variasi *stop time*, *blowing time*, dan *blowing pressure* yang digunakan dalam pembuatan botol 50 ml menggunakan tiga level yaitu seperti tertera pada tabel 3.1:

Tabel 3.1 Level yang digunakan

| Faktor | Level bawah | Level tengah | Level atas |
|------------------|-------------|--------------|------------|
| Kode | -1 | 0 | +1 |
| Blowing pressure | 5 bar | 5,75 bar | 6 bar |
| Blowing time | 8 detik | 9 detik | 10 detik |
| Stop time | 0,5 detik | 1 detik | 1,5 detik |

3.4.2 Variabel Terikat

Variabel terikat merupakan variabel yang besarnya tidak dapat ditentukan sepenuhnya oleh peneliti, tetapi besarnya tergantung pada variabel bebasnya. Penelitian ini mempunyai 3 variabel terikat, yaitu:

1. Waktu siklus produksi
2. Netto produk
3. Volume produk

3.5 Prosedur Penelitian

3.5.1 Tahapan penelitian pada produksi botol 50 ml, yaitu :

1. Memasukkan bahan baku plastik ke dalam tandon material dan mengatur perbandingan material murni dan material *afval* yang akan diproses yaitu 50 % material murni HDPE dan 50 % material *afval*.
2. Mengatur temperatur *barrel* sesuai dengan *melting point* HDPE ($160^{\circ} - 210^{\circ} \text{C}$).
3. Mengatur *blowing pressure* sesuai standar awal perusahaan yaitu 5 bar.
4. Mengatur *blowing time* sesuai standar awal yaitu 8 detik.
5. Mengatur *stop time* sesuai standar awal yaitu 0,5 detik.
6. Menjalankan mesin dengan kondisi maksimum, yang dimaksud mesin dalam kondisi maksimum adalah mesin pada kondisi panas dan botol yang dihasilkan stabil.
7. Ulangi langkah (1) sampai dengan (6) dengan merubah nilai variabel *blowing pressure*, *blowing time*, dan *stop time* sesuai dengan level.
8. Melakukan pengambilan data, metode pengambilan data dan kombinasi level berdasarkan rancangan *Box-Behnken Design*.
9. Mengukur kecepatan waktu siklus produksi (*cycle time*) menggunakan *stopwatch*.
10. Memeriksa adanya kebocoran / lubang pada produk menggunakan alat *leak tester detector*.
11. Mengukur berat produk dan volume produk menggunakan timbangan digital.
12. Pengambilan dan pengukuran waktu siklus dilakukan tiap dua kali mesin melakukan proses produksi hingga selesai atau *mold* dalam keadaan

terbuka. Jeda satu kali proses produksi dimaksudkan untuk memberikan waktu pada mesin agar lebih beradaptasi pada perubahan *setting* yang dilakukan.

13. Pengambilan data menggunakan 3 kali replikasi / pengulangan.

3.5.2 Penyajian data hasil penelitian

Setelah proses pengambilan data selesai selanjutnya memasukkan data sesuai rancangan percobaan desain *Box-Behnken* dengan $k = 3$:

Tabel 3.2 Rancangan Percobaan *Box-Behnken Design* dengan $k = 3$
(Montgomery, 1997)

| No | X ₁ | X ₂ | X ₃ |
|----|----------------|----------------|----------------|
| 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 |

3.5.3 Pengolahan data

Pengolahan data hasil penelitian akan menggunakan aplikasi perhitungan statistik Minitab 16.

3.5.4 Pengujian data

a.) Pemeriksaan Asumsi Residual

Residual didefinisikan sebagai selisih antara nilai pengamatan dan nilai dugaannya $e_i = Y_i - \hat{Y}_i$. 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 $v_i \sim \text{IIDN}(0, \alpha^2)$. 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:

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 (Supranto, 1996).

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 (Supranto, 1996).

3) Uji Distribusi Normal

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 (Supranto, 1996).

b.) Pengujian statistik

Karena tidak diketahui hubungan fungsional yang tepat antara parameter respon dengan parameter bebas, maka dilakukan pengujian sebagai berikut (Supranto, 1996):

- uji lack of fit

Untuk menguji model apakah sudah sesuai dengan model yang diduga atau belum, maka dilakukan uji terhadap ada atau tidaknya lack of fit dalam model tersebut. Hipotesis yang perlu diuji adalah sebagai berikut:

- H_0 : tidak ada lack of fit dalam model

- H_1 : ada lack of fit dalam model

Statistik ujinya dengan rumus :

$$F_{rasio} = \frac{MS_{LOF}}{MS_{PE}} \dots\dots\dots (4)$$

Untuk pengujian ini digunakan tabel ANAVA seperti ditunjukkan pada tabel 3.4 dengan kriteria atau penerimaannya:

- H_0 ditolak jika F hitung $>$ F tabel, yang berarti ada *lack of fit*, yaitu ada ketidaksesuaian antara model yang diduga dengan model sebenarnya.

Tabel 3.3 ANAVA untuk uji signifikansi regresi disain eksperimen
(Supranto, 1996)

| Sumber Variasi | db | Jumlah Kuadrat | Rata-rata Kuadrat | F_{tabel} |
|----------------|-------------------|--|---|----------------------------|
| Regresi | k | $SS_R = b'X'Y - n\bar{Y}^2$ | $MS_R = \frac{SS_R}{k}$ | $\frac{MS_R}{MS_E}$ |
| Residual | $n - k - 1$ | $SS_E = Y'Y - b'X'Y$ | $MS_E = \frac{SS_E}{(n - k - 1)}$ | |
| Lack of fit | $n - k - 1 - n_e$ | $SS_{LOF} = SS_E - SS_{PE}$ | $MS_{LOF} = \frac{SS_{LOF}}{(n - k - 1 - n_e)}$ | $\frac{MS_{LOF}}{MS_{PE}}$ |
| Pure error | n_e | $SS_{PE} = \sum_{j=1}^m \sum_{u=1}^{n_j} (Y_{ju} - \bar{Y}_j)^2$ | $MS_{PE} = \frac{SS_{PE}}{n_e}$ | |
| Total | $n - 1$ | $SS_T = Y'Y - n\bar{Y}^2$ | | |

Dimana :

k = Jumlah parameter regresi

n = banyaknya pengamatan

n_e = (banyak pengulangan - 1)

- Pengujian koefisien determinasi berganda (R^2)

Koefisien determinasi (R^2) sering digunakan untuk mengukur kecukupan atau ketepatan model regresi. Nilai R^2 berkisar antara 0 sampai 100% di mana semakin mendekati nilai 100% maka model semakin baik. Rumusnya adalah sebagai berikut (Supranto, 1996) :

$$R^2 = \frac{SS_R}{S_{yy}} = 1 - \frac{SS_E}{S_{yy}} \dots\dots\dots (5)$$

- Pengujian koefisien regresi secara serentak

Pengujian ini dilakukan untuk menentukan apakah terjadi hubungan linier antara parameter tidak bebas (Y) dengan parameter bebasnya (X_1, X_2, X_3) (Supranto, 1996).

$$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_k = 0$$

(semua parameter regresi bernilai 0, yaitu semua parameter bebas (*blowing pressure, blowing time* dan *stop time*) tidak berpengaruh terhadap parameter respon (*cycle time, netto* dan *volume*))

$$H_1 : \text{minimal ada satu } \beta_i \neq 0$$

(sedikitnya ada satu parameter bebas (*blowing pressure, blowing time* dan *stop time*) yang berpengaruh terhadap parameter respon).

Statistik ujinya dengan rumus :

$$F_{hitung} = \frac{MS_R}{MS_E} \dots\dots\dots (6)$$

- H_0 ditolak jika $F_{hitung} > F_{tabel}$, yang berarti model dapat diterima secara statistik dan paling sedikit ada satu parameter bebas yang mempunyai pengaruh nyata terhadap respon.

- Pengujian koefisien regresi secara individual.

Pengujian koefisien parameter secara individual ini dimaksudkan untuk menguji regresi pada suatu parameter bebas tertentu, bila parameter bebas lainnya dianggap konstan.

Hipotesa yang di uji:

$$H_0 : \beta_i = 0 \quad \text{yaitu } \beta_i \text{ tidak mempengaruhi respon}$$

$$H_1 : \beta_i \neq 0 \quad \text{yaitu } \beta_i \text{ mempengaruhi respon}$$

Statistik ujinya dengan rumus :

$$T_{hitung} = \frac{b_i}{S(b_i)} \dots\dots\dots (7)$$

- Jika $t_{hitung} > t_{tabel}$, maka H_0 ditolak, yang berarti bahwa parameter bebas memberi pengaruh nyata pada perubahan respon .
- Jika $t_{hitung} < t_{tabel}$, maka H_0 diterima, yang berarti bahwa parameter bebas tidak memberi pengaruh nyata pada perubahan respon .

3.5.5 Optimasi Respon

Optimasi merupakan usaha di dalam penelitian untuk mendapatkan level-level variabel bebas agar mendapatkan respon yang optimal. Pendekatan fungsi *desirability* merupakan salah satu metode yang digunakan untuk optimasi multi-respon. Adapun persamaannya adalah (Kristiyantoro, 2009):

$$D = (d_1(y_1)d_2(y_2)...d_p(y_p))^{1/p} \dots\dots\dots (8)$$

dimana : D = *desirability* total

d_p = fungsi *desirability* masing-masing

p = jumlah *output* yang diinginkan

y = *transfer function* masing-masing

Metoda *desirability* memiliki empat cara untuk menyelesaikan optimasi respon dan masing-masing cara hanya cocok untuk kasus tertentu, yaitu (Kristiyantoro, 2009):

a. *The Large is Better*

Pada kasus ini nilai maksimum dari y_i adalah nilai yang paling diinginkan dan $d_i(y_i)$ didefinisikan sebagai berikut: