

OPTIMALISASI BOTOL 600 ML PADA MESIN BLOW MOLDING DENGAN RSM (RESPONSE SURFACE METHODOLOGY)

- 1) Mahasiswa Teknik Mesin, Universitas Yudharta Pasuruan, Kab. Pasuruan, Indonesia.
- 2) Kaprodi Teknik Mesin, Universitas Yudharta Pasuruan, Kab. Pasuruan, Indonesia.

Corresponding email ¹⁾ :
suryaapriyanto15@gmail.com
Corresponding email ²⁾ :
masud.teknik@yudharta.ac.id

Received: 25-08-2023
Accepted: 28-08-2023
Published: 28-12-2023

©2023 Politala Press.
All Rights Reserved.

Surya Apriyanto ¹⁾, Mochamad Mas'ud ²⁾

Abstrak. PT. TL Pasuruan adalah perusahaan yang beroperasi menghasilkan produk air mineral dalam kemasan. Jenis produk yang sering diproduksi adalah air mineral kemasan botol 600 ml dengan menggunakan material preform. Permasalahan terjadi pada saat penggantian material dari jenis B ke jenis A, efek yang ditimbulkan adalah adanya banyak defect yang disebabkan temperatur heater tidak sesuai dengan jenis material yang digunakan sebelumnya. Metode penelitian ini adalah Response Surface Methodology. Jenis desain factorial yang digunakan Box Behnken Design (BBD) dengan software Minitab 21, Hasil yang runs yang didapat menggunakan software Minitab adalah 54 runs. Hasil penelitian menggunakan metode response surface mendapatkan setting parameter zona 1 = 164.7475°C, zona 2 = 137.8990°C, zona 3 = 74.4242°C, zona 4 = 76.8081°C, cycle time = 4.2485 (s) dan blowing time = 1.250 (s). Variabel respon kualitas hasil produk bernilai 0,6845 dengan desirability 1,000.

Kata kunci: Respon Surface Methodology, Desain Eksperimen, Optimasi.

Abstract. PT. TL Pasuruan is a company operating to produce bottled mineral water products. The type of product that is often produced is mineral water in 600 ml bottles using preform materials. The problem occurs when the material is replaced from type B to type A, the effect is that there are many defects caused by the temperature of the heater not matching the type of material used before. This research method is the Response Surface Methodology. The type of factorial design used is Box Behnken Design (BBD) with Minitab 21 software. The results obtained using Minitab software are 54 runs. The results of the study using the response surface method obtained the parameter settings for zone 1 = 164.7475°C, zone 2 = 137.8990°C, zone 3 = 74.4242°C, zone 4 = 76.8081°C, cycle time = 4.2485 (s) and blowing time = 1.250 (s). The product quality response variable is 0.6845 with a desirability of 1.000.

Keywords: Response Surface Methodology, Experimental Design, Optimization.

To cite this article: <https://doi.org/10.34128/je.v10i2.257>

1. Pendahuluan

Keperluan plastik di Indonesia diperkirakan akan mengalami kenaikan setiap tahunnya. Dibuktikan dengan adanya kenaikan persentase 5,2% pada tahun 2019, komponen yang menyebabkan kenaikan tersebut adalah industri makanan dan minuman menyumbang angka persentase 8,9%. Berdasarkan informasi dari Asosiasi Industri Plastik Indonesia (INAPLAS), minat masyarakat terhadap plastik akan terus kenaikan hingga mencapai persentase 30,92% pada tahun 2025 menjadi 6.986 metrik ton. Dengan demikian kebutuhan plastik akan terus meningkat [1].

Plastik merupakan bahan yang terjangkau di kalangan masyarakat luas, mudah diperoleh dan mudah digunakan [2]. Untuk memproduksi plastik dengan kualitas hasil produk yang sesuai ketentuan, faktor penting yang perlu diperhatikan yaitu alat yang digunakan [3]. Jenis-jenis alat pemroses plastik meliputi mesin *injection molding*, *extrusion molding*, dan *stretch blow molding* [4]. Dari ketiga alat pemroses cetakan di atas, alat yang sering dipakai oleh pihak perusahaan yaitu mesin *stretch blow molding* yang memiliki pedoman fungsi mencetak

botol *preform* dengan cara ditiup menggunakan udara bertekanan tinggi. Langkah awal adalah memanaskan botol *preform* dengan pemanas dan kemudian memasukkannya ke dalam wadah cetakan, kemudian injeksi diberikan udara yang bertekanan tinggi sehingga *preform* dapat memanjang dan membentuk produk sesuai keinginan [5]. Produk bahan plastik memiliki fungsi untuk melindungi produk agar sampai ke tangan konsumen dengan aman dan sebagai daya tarik minat pembeli karena mempunyai sifat yang praktis [6].

PT. TL Pasuruan adalah perusahaan yang bergerak pada produksi air mineral dalam kemasan, terutama jenis produk botol. Jenis produk yang sering diproduksi adalah air mineral kemasan botol 600 ml dengan menggunakan material *preform*. PT. TL Pasuruan mempunyai 2 jenis vendor material *preform*, yaitu jenis A dengan kualitas super atau kualitas di atas standar, dan jenis B dengan kualitas standar. Perbedaan material jenis A dan jenis B adalah kebutuhan temperatur *heater* untuk menghasilkan kualitas hasil produk yang baik. Jika produksi menggunakan material jenis A, temperatur *heater* yang dibutuhkan lebih rendah dari pada menggunakan material jenis B. Pada material *preform* terbagi menjadi 4 *zone* temperatur *heater*.

Permasalahan terjadi pada saat penggantian material dari jenis B ke jenis A, *setting* yang digunakan saat menggunakan material jenis A yaitu, *zone 1* = 170 °C, *zone 2* = 140 °C, *zone 3* = 78 °C, *zone 4* = 80 °C, *cycle time* 4,4 (s) dan *blowing time* 1,45 (s). Efek yang ditimbulkan adalah adanya banyak *defect* yang disebabkan temperatur *heater* yang tidak sesuai dengan jenis material yang digunakan. Pengujian dilakukan dengan cara memvariasikan variabel temperatur *zone* (1,2,3, dan 4), *cycle time*, dan *blowing time* yang bertujuan untuk mengoptimalkan kualitas hasil produk botol mineral 600 ml. Material *preform* yang digunakan dalam penelitian adalah material jenis A.

2. Tinjauan pustaka

Plastik menurut struktur dan molekulnya dibagi menjadi 3 jenis, yaitu: *thermoset*, *thermoplastic*, dan *elastomer* [7].

Blow molding adalah proses siklus pembuatan plastik untuk memproduksi botol, dimana terjadi biji plastik atau bentuk tabung yang dihasilkan dari proses ekstrusi dikembangkan dalam suatu cetakan yang diberikan udara bertekanan yang akan membentuk suatu barang [8].

Desain eksperimen digunakan untuk memperbaiki performa kinerja adalah dengan cara penerapan RSM [9]. Metode *Response surface* adalah bermacam-macam metode statistik dan matematika yang berfungsi untuk menciptakan, meningkatkan, dan memaksimalkan proses [10]. Tujuan dari metode *response surface* adalah mengetahui variabel bebas yang menyebabkan nilai variabel respon menjadi ideal [11].

Penelitian oleh Putra dkk pada tahun 2017, yang berjudul “Optimasi Produksi Tutup Botol 500 ml Pada Proses Injection Molding Menggunakan Metode Response Surface”. Penelitian dilakukan di PT. BERLINA Tbk. Permasalahan yang terjadi pada penelitian adalah dalam pembuatan tutup botol, waktu siklus yang terjadi di perusahaan PT. BERLINA Tbk tidak sesuai ketentuan yaitu 30 (s), perhitungan waktu siklus sesuai ketentuan menurut perhitungan *engineering* adalah 28 (s). Hal tersebut dinilai kurang efektif karena proses waktu siklus terbilang lama, sehingga hanya memperoleh produk yang sedikit. Tujuan penelitian ini adalah mempercepat proses waktu siklus tanpa mengurangi kualitas produk. Metode yang dipakai yaitu respon permukaan, dengan estimasi pemrograman *Minitab 16*. Variabel independen yang ditentukan yaitu *inject pressure*, *temperature nozzle*, dan *cooling time*. Hasil penelitiannya adalah setting optimal parameter yang digunakan yaitu *injection pressure* = 1420 bar, *temperature nozzle* = 264,7912°C, dan *cooling time* = 14,08 (s). Setting tersebut meningkat sebesar 10,836% dari kondisi awal. Variabel dependent didapatkan waktu siklus = 27,9161 detik, netto = 33,5820gram dan persentase kerusakan produk = 11,11%. Dengan waktu siklus = 27,9161 (s). Netto yang diperoleh sudah sesuai dengan ketentuan dan persentase kerusakan produk turun 3,89%, setting parameter tersebut memperoleh hasil produk ± 15.517/shift atau meningkat 10,836%. Jika dibandingkan dengan waktu siklus yang sebelumnya 30 (s) hanya memperoleh produk ± 14.000/shift [12].

Penelitian oleh Ali dkk pada tahun 2021, yang berjudul “Fill Time Optimization Analysis in Flow Simulation of Injection Molding Using Response Surface Method”. Permasalahan yang terjadi adalah parameter injection molding pada analisis pengisian yang belum optimal. Tujuan penelitian ini adalah mengoptimalkan setting parameter injection molding pada analisis pengisian menggunakan RSM (*Response Surface Methodology*) dengan menggunakan pemrograman simulasi *Moldflow Plastics Adviser* (MPA) versi 2019 yang dibuat oleh *Autodesk*. Variabel faktor yang dipakai adalah *injection time*, *melt temperature*, *mold temperature*, and *the number of the gate*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tidak terdapat efek atau pengaruh antara parameter proses terhadap waktu pengisian dimana waktu injeksi merupakan satu-satunya faktor utama yang mempengaruhi waktu pengisian. Peningkatan meningkat sebesar 0,07% setelah proses optimasi dari 4,278 detik menjadi 4,281 detik. Parameter yang paling optimum untuk memperpanjang waktu injeksi adalah *mold temperature* 60°C, *injection time* 4 detik, dan *the number of the gate* dengan posisi 2 gate. Dengan demikian, semakin lama waktu penginjeksian maka dapat mengurangi *defect* bagian cetakan pada proses *injection molding* [13].

Menurut Pakem [14] cara penerapan metode respon permukaan, yaitu:

1. menetapkan variabel independen, variabel reaksi, dan menetapkan batas variabel independen.

2. Membuat desain eksperimen orde I.
3. Membuat persamaan regresi orde I.
4. Menguji hipotesis dari uji ketidakcocokan dan Analysis and Variance
5. Menetapkan letak titik optimal dengan menggunakan metode steepest ascent.
6. Membuat desain eksperimen orde II.
7. Membuat persamaan model regresi orde II dari sebelumnya.
8. Melakukan pengujian hipotesis ketidakcocokan dan Analysis and Variance
9. Analisa *response surface*.

Menurut Montgomery (2005) mengatakan bahwa bentuk linear yang pertama kali perlu dicobakan adalah respon surface orde satu, karena merupakan tahap awal yang paling sederhana. Persamaan fungsi rancangan orde I adalah sebagai berikut:

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i X_i + \varepsilon \tag{1}$$

Dimana:

- y = Variabel dependen
- β_0 = Konstan
- X_i = Variabel independent
- i = 1, 2, 3,, k
- ε = Komponen residual (*error*)

3. Metodologi

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Response Surface*, yaitu suatu metode secara matematika dan statistic yang digunakan untuk mengetahui variabel respon yang dipengaruhi oleh variabel independen atau variabel yang lain. Tujuan dari metode *response surface* adalah untuk memaksimalkan variabel respon atau variabel dependen [15].

Variabel penelitian

Variabel faktor (x) yang digunakan yaitu: temperatur *heater zone* (1, 2, 3, dan 4), *cycle time*, dan *blowing time*, sedangkan variabel respon (y) yang dicari adalah kualitas hasil produk botol 600 ml.

Desain eksperimen orde satu

Dalam memproses desain eksperimen orde satu, desain yang dipergunakan adalah rancangan desain 2^k . Desain 2^k merupakan desain yang memiliki 2 level perlakuan terhadap (k) faktor. Desain level yang digunakan dalam penelitian terdapat 3 level, yaitu *low*, *medium* dan *high*. Level *low* merupakan nilai batas bawah *setting* parameter dengan kode (-1), level *medium* merupakan nilai tengah *setting* parameter dengan kode (0), dan level *high* merupakan nilai batas atas *setting* parameter dengan kode (+1).

Berikut merupakan batas parameter yang digunakan dalam penelitian seperti pada Tabel 1:

Tabel 1. Batas parameter material *preform* jenis A

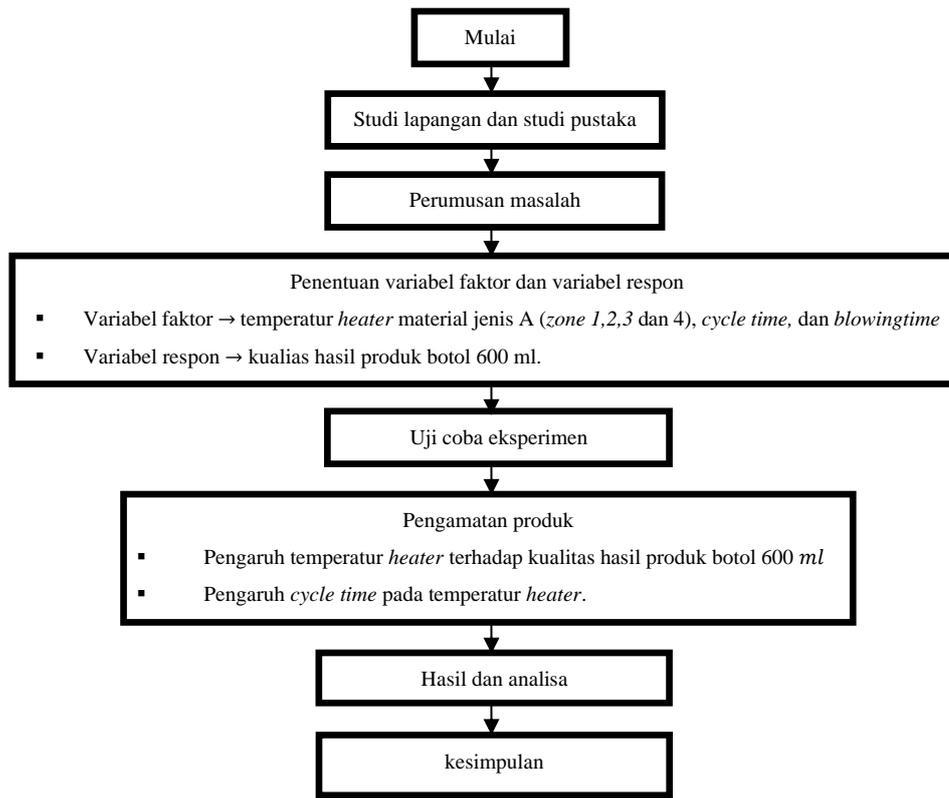
| Material <i>preform</i> jenis A | | | | |
|--|------------------------|-------------------|------------------|--|
| Variabel (x) | Batas parameter | | | |
| | Bawah (-) | Tengah (0) | Atas (+1) | |
| Zone 1 (x1) | 160 | 165 | 170 | |
| Zone 2 (x2) | 132 | 136 | 140 | |
| Zone 3 (x3) | 72 | 75 | 78 | |
| Zone 4 (x4) | 76 | 78 | 80 | |
| Cycle time (x5) | 4,2 | 4,3 | 4,4 | |
| Blowing time (x6) | 1,25 | 1,35 | 1,45 | |

| Box- Behnken Design | | | |
|----------------------------|----|---------------|----|
| Design Summary | | | |
| Factors: | 6 | Replicates: | 1 |
| Base runs: | 54 | Total runs: | 54 |
| Base blocks: | 1 | Total blocks: | 1 |
| Center points: 6 | | | |

Gambar 1. Box Behnken Design

Pada Gambar 1 merupakan desain eksperimen orde satu jenis *Box-Behken Design* (BBD) dengan menggunakan *software Minitab 21*. Hasil *runs* yang didapat adalah 54 *runs*.

Diagram alur penelitian



4. Hasil dan Pembahasan

Jenis-jenis defect pada kualitas hasil produk

Berikut merupakan penilaian variabel respon kualitas hasil produk botol:

- a) Penilaian variabel respon angka 1, botol tidak ada *defect*
- b) Penilaian variabel respon angka 2, botol sedikit penyok
- c) Penilaian variabel respon angka 3, botol sedikit penyok dan kurang mengembang
- d) Penilaian variabel respon angka 4, botol penyok, kurang mengembang, dan botol berlubang kecil
- e) Penilaian variabel respon angka 5, botol penyok, kurang mengembang, dan botol berlubang besar

Analisis desain eksperimen orde I

Hasil regresi persamaan orde satu yaitu:

$$Y = 0,125A - 0,208B - 0,042C + 0,125D - 0,333E + 0,208F$$

Keterangan persamaan huruf pada regresi orde I adalah

A = *zone 1*, B = *zone 2*, C = *zone 3*, D = *zone 4*, E = *cycle time*, dan *blowing time*

Uji signifikansi pada regresi orde I

Dalam pengujian hipotesis yang digunakan yaitu:

$$H_0 : \beta_0 = \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \beta_4 = \beta_5 = \beta_6 = 0 ,$$

$$H_1 : \beta_j \neq 0, \text{ untuk suatu } j$$

Untuk mengecek uji signifikansi orde I, dapat dilihat dalam perhitungan berikut:

$$n = 54, k = 7$$

Dimana *n* = jumlah respon, *k* = jumlah variabel faktor dan variabel respon

$$y'y = 934$$

$$b' x' y = 835,542$$

$$(\sum_{i=1}^n y_i)^2 = 830$$

$$SS_E = y'y - b' x' y = 934 - 835,542 = 98,458$$

$$SS_T = y'y - (\sum_{i=1}^n y_i)^2 = 934 - 830 = 104$$

$$SS_R = b' x' y - (\sum_{i=1}^n y_i)^2 = 835,542 - 830 = 5,542$$

$$MS_R = \frac{SS_R}{k} = 5,542 / 6 = 0,923$$

$$MS_E = \frac{SS_E}{n-k-1} = 98,458 / (47) = 2,094$$

Sehingga F hitung nya diperoleh dengan perhitungan:

$$F_{hitung} = \frac{MS_R}{MS_E} = \frac{0,923}{2,094} = 0,441$$

Tabel 2. ANOVA untuk uji signifikasi pada regresi

| Model | Jumlah kuadrat | Derajat kebebasan (df) | Kuadrat tengah | F_{hitung} |
|---------|----------------|----------------------------|----------------|--------------|
| Regresi | 5,542 | 6 | 0,923 | 0,441 |
| Error | 98,458 | 47 | 2,094 | |
| Total | 104 | 53 | | |

Tabel 3. Perhitungan F_{tabel}

| DF Penyebut (N2) = | DF Pembilang (N1) | | | | | |
|--------------------|-------------------|------|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 40 | 4,08 | 3,23 | 2,84 | 2,61 | 2,45 | 2,34 |
| 41 | 4,08 | 3,23 | 2,83 | 2,60 | 2,44 | 2,33 |
| 42 | 4,07 | 3,22 | 2,83 | 2,59 | 2,44 | 2,32 |
| 43 | 4,07 | 3,21 | 2,82 | 2,59 | 2,43 | 2,32 |
| 44 | 4,06 | 3,21 | 2,82 | 2,58 | 2,43 | 2,31 |
| 45 | 4,06 | 3,20 | 2,81 | 2,58 | 2,42 | 2,31 |
| 46 | 4,05 | 3,20 | 2,81 | 2,57 | 2,42 | 2,30 |
| 47 | 4,05 | 3,20 | 2,80 | 2,57 | 2,41 | 2,30 |

Hasil F_{tabel} pada Tabel 3 dengan toleransi 0,05% adalah 2,30 yang berasal derajat kebebasan $N1 = 6$ pada baris, dan $N2 = 47$ pada kolom, sehingga perhitungan yang diperoleh adalah 2,30. Dapat dilihat $F_{hitung} = 0,441 < F_{tabel} = 2,30$, dengan artian $H_0 = diterima$ dan $H_1 = reject$, artinya variabel faktor X_i memberikan efek signifikasi pada model regresi orde I. Perhitungan koefisien determinasinya yaitu:

$$R^2 = \frac{SS_R}{SS_T} = \frac{5,542}{104} = 0,053 = 5,3\%$$

$R^2 = 0,053$ atau 5,3% > nilai toleransi 0,05 atau 5%, dengan artian variabel faktor memiliki pengaruh signifikasi terhadap kualitas hasil produk.

Uji ketidaksesuaian model (lack of fit) orde I

Pengujian ketidak kesesuaian model regresi I dilakukan dengan uji *lack of fit*. Hipotesis pada kesesuaian model sebagai berikut:

H_0 = model telah sesuai (tidak ada *lack of fit*)

H_1 = model tidak sesuai (terdapat *lack of fit*)

Untuk memeriksa kesesuaian model orde I, dapat dilihat perhitungan sebagai berikut:

$$n = 54,$$

$$k = 7,$$

$$n_f = (2k) + 2 = 14$$

$$SS_E = y'y - b' x' y = 934 - 835,542 = 98,458$$

$$SS_{murni} = (\sum_{i=1}^n y_i)^2 n^2 (y' - y)^2 = 1.667.330.892.000$$

$$SS_{LOF} = SS_{murni} - SS_E = 1.667.330.892.000 - 98,458 = 1.667.330.891.901,542$$

$$MS_{LOF} = \frac{SS_{LOF}}{n_f - k - 1} = \frac{1.667.330.891.901,542}{7} = 238.190.127.414,506$$

$$MS_{murni} = \frac{SS_{murni}}{n - n_f} = \frac{1.667.330.892.000}{40} = 41.683.272.300$$

Sehingga diperoleh perhitungan F_{hitung} sebagai berikut:

$$F_{hitung} = \frac{MS_{murni}}{MS_{LOF}} = \frac{41.683.272.300}{238.190.127.414,506} = 0,1750$$

Tabel 4. ANOVA untuk uji Lack of Fit

| Model | Jumlah kuadrat | Derajat kebebasan (<i>df</i>) | Kuadrat tengah | F_{hitung} |
|-------------|----------------------|------------------------------------|---------------------|--------------|
| Error | 98,458 | 47 | | 0,175 |
| Lack of fit | 1.667.330.891.901,54 | 6 | 238.190.127.414,506 | |
| | 2 | | | |
| Galat murni | 1.667.330.892.000 | 41 | 41.683.272.300 | |

Uji *lack of fit* pada Tabel 4. di atas diperoleh $F_{hitung} = 0,175 < F_{tabel} = 2,30$ sehingga tidak ada alasan untuk *reject* H_0 yang berarti model regresi sudah sesuai.

Analisis desain eksperimen orde II

Pengolahan data menggunakan *software Minitab 21*, berikut merupakan hasil pengolahan data:

Tabel 5. Koefisien regresi untuk kualitas hasil produk

| Term | Coef | SE Coef | T-Value | P-Value | VIF |
|---------------------------|--------|---------|---------|---------|------|
| Constant | 1,167 | 0,248 | 4,70 | 0,000 | |
| Zone 1 | 0,125 | 0,124 | 1,01 | 0,323 | 1,00 |
| Zone 2 | -0,208 | 0,124 | -1,68 | 0,105 | 1,00 |
| Zone 3 | -0,042 | 0,124 | -0,34 | 0,740 | 1,00 |
| Zone 4 | 0,125 | 0,124 | 1,01 | 0,323 | 1,00 |
| Cycle Time | -0,333 | 0,124 | -2,69 | 0,012 | 1,00 |
| Blowing Time | 0,208 | 0,124 | 1,68 | 0,105 | 1,00 |
| Zone 1*Zone 1 | 1,333 | 0,190 | 7,04 | 0,000 | 1,30 |
| Zone 2*Zone 2 | 0,292 | 0,190 | 1,54 | 0,136 | 1,30 |
| Zone 3*Zone 3 | 1,500 | 0,190 | 7,92 | 0,000 | 1,30 |
| Zone 4*Zone 4 | 0,833 | 0,190 | 4,40 | 0,000 | 1,30 |
| Cycle Time*Cycle Time | 1,167 | 0,190 | 6,16 | 0,000 | 1,30 |
| Blowing Time*Blowing Time | 0,500 | 0,190 | 2,64 | 0,014 | 1,30 |
| Zone 1*Zone 2 | -0,125 | 0,215 | -0,58 | 0,566 | 1,00 |
| Zone 1*Zone 3 | 0,000 | 0,215 | 0,00 | 1,000 | 1,00 |
| Zone 1*Zone 4 | -0,063 | 0,152 | -0,41 | 0,684 | 1,00 |
| Zone 1*Cycle Time | 0,500 | 0,215 | 2,33 | 0,028 | 1,00 |
| Zone 1*Blowing Time | -0,250 | 0,215 | -1,16 | 0,255 | 1,00 |
| Zone 2*Zone 3 | 0,125 | 0,215 | 0,58 | 0,566 | 1,00 |
| Zone 2*Zone 4 | -0,125 | 0,215 | -0,58 | 0,566 | 1,00 |
| Zone 2*Cycle Time | -0,000 | 0,152 | -0,00 | 1,000 | 1,00 |
| Zone 2*Blowing Time | 0,125 | 0,215 | 0,58 | 0,566 | 1,00 |
| Zone 3*Zone 4 | -0,250 | 0,215 | -1,16 | 0,255 | 1,00 |
| Zone 3*Cycle Time | -0,375 | 0,215 | -1,75 | 0,093 | 1,00 |
| Zone 3*Blowing Time | -0,250 | 0,152 | -1,65 | 0,112 | 1,00 |
| Zone 4*Cycle Time | 0,250 | 0,215 | 1,16 | 0,255 | 1,00 |
| Zone 4*Blowing Time | -1,000 | 0,215 | -4,65 | 0,000 | 1,00 |
| Cycle Time*Blowing Time | -1,625 | 0,215 | -7,56 | 0,000 | 1,00 |

Pada Tabel 5, menunjukkan hasil taksiran parameter untuk model kualitas hasil produk, yang selanjutnya akan di buat model persamaan kualitas hasil produk model orde dua. Persamaannya adalah sebagai berikut:

$Y_{\text{kualitas hasil produk}} =$

$$1,167 + 0,125x_1 - 0,208x_2 - 0,042x_3 + 0,125x_4 - 0,333x_5 + 0,208x_6 + 1,333x_1^2 + 0,292x_2^2 + 1,5x_3^2 + 0,833x_4^2 + 1,167x_5^2 + 0,5x_6^2 - 0,125x_1x_2 + 0x_1x_3 - 0,063x_1x_4 + 0,5x_1x_5 - 0,25x_1x_6 + 0,125x_2x_3 - 0,125x_2x_4 - 0x_2x_5 + 0,125x_2x_6 - 0,25x_3x_4 - 0,375x_3x_5 - 0,25x_3x_6 + 0,25x_4x_5 - 1x_4x_6 - 1,625x_5x_6$$

Tabel 6. Analysis of Variance (ANOVA) untuk kualitas hasil produk botol

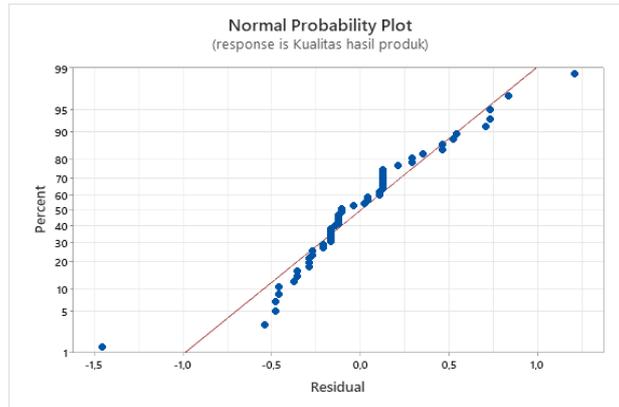
| Source | DF | Adj SS | Adj MS | F-Value | P-Value |
|---------------------------|----|---------|---------|---------|---------|
| Model | 27 | 94,396 | 3,4961 | 9,46 | 0,000 |
| Linear | 6 | 5,542 | 0,9236 | 2,50 | 0,048 |
| Zone 1 | 1 | 0,375 | 0,3750 | 1,02 | 0,323 |
| Zone 2 | 1 | 1,042 | 1,0417 | 2,82 | 0,105 |
| Zone 3 | 1 | 0,042 | 0,0417 | 0,11 | 0,740 |
| Zone 4 | 1 | 0,375 | 0,3750 | 1,02 | 0,323 |
| Cycle Time | 1 | 2,667 | 2,6667 | 7,22 | 0,012 |
| Blowing Time | 1 | 1,042 | 1,0417 | 2,82 | 0,105 |
| Square | 6 | 53,542 | 8,9236 | 24,16 | 0,000 |
| Zone 1*Zone 1 | 1 | 18,286 | 18,2857 | 49,50 | 0,000 |
| Zone 2*Zone 2 | 1 | 0,875 | 0,8750 | 2,37 | 0,136 |
| Zone 3*Zone 3 | 1 | 23,143 | 23,1429 | 62,65 | 0,000 |
| Zone 4*Zone 4 | 1 | 7,143 | 7,1429 | 19,34 | 0,000 |
| Cycle Time*Cycle Time | 1 | 14,000 | 14,0000 | 37,90 | 0,000 |
| Blowing Time*Blowing Time | 1 | 2,571 | 2,5714 | 6,96 | 0,014 |
| 2-Way Interaction | 15 | 35,312 | 2,3542 | 6,37 | 0,000 |
| Zone 1*Zone 2 | 1 | 0,125 | 0,1250 | 0,34 | 0,566 |
| Zone 1*Zone 3 | 1 | 0,000 | 0,0000 | 0,00 | 1,000 |
| Zone 1*Zone 4 | 1 | 0,063 | 0,0625 | 0,17 | 0,684 |
| Zone 1*Cycle Time | 1 | 2,000 | 2,0000 | 5,41 | 0,028 |
| Zone 1*Blowing Time | 1 | 0,500 | 0,5000 | 1,35 | 0,255 |
| Zone 2*Zone 3 | 1 | 0,125 | 0,1250 | 0,34 | 0,566 |
| Zone 2*Zone 4 | 1 | 0,125 | 0,1250 | 0,34 | 0,566 |
| Zone 2*Cycle Time | 1 | 0,000 | 0,0000 | 0,00 | 1,000 |
| Zone 2*Blowing Time | 1 | 0,125 | 0,1250 | 0,34 | 0,566 |
| Zone 3*Zone 4 | 1 | 0,500 | 0,5000 | 1,35 | 0,255 |
| Zone 3*Cycle Time | 1 | 1,125 | 1,1250 | 3,05 | 0,093 |
| Zone 3*Blowing Time | 1 | 1,000 | 1,0000 | 2,71 | 0,112 |
| Zone 4*Cycle Time | 1 | 0,500 | 0,5000 | 1,35 | 0,255 |
| Zone 4*Blowing Time | 1 | 8,000 | 8,0000 | 21,66 | 0,000 |
| Cycle Time*Blowing Time | 1 | 21,125 | 21,1250 | 57,19 | 0,000 |
| Error | 26 | 9,604 | 0,3694 | | |
| Lack-of-Fit | 21 | 8,771 | 0,4177 | 2,51 | 0,156 |
| Pure Error | 5 | 0,833 | 0,1667 | | |
| Total | 53 | 104,000 | | | |

Uji kesesuaian model (lack of fit) orde dua

Untuk menguji kesesuaian model, selanjutnya dilakukan uji *lack of fit* pada Tabel 6. uji *lack of fit* mempunyai nilai *P-value* 0,156 atau 15,6%, yang berarti nilai *P-value* lebih besar 10,6% dari nilai standar toleransi 0,05 atau 5%, sehingga tidak ada alasan untuk menolak H_0 , yang artinya model tersebut tidak mengandung *lack of fit* atau model yang diperoleh sudah sesuai dengan data.

Pengujian kenormalan residual

Pengujian terakhir yang dilakukan yaitu uji distribusi normal, yang berfungsi untuk untuk mengamati kenormalan model. Residual dinyatakan telah mengikuti distribusi normal jika titik residual berwarna biru mendekati garis lurus berwarna merah yang ditetapkan. Pada Gambar 2, menunjukkan titik residual telah mendekati garis lurus berwarna merah, yang berarti uji kenormalan residual telah sesuai.

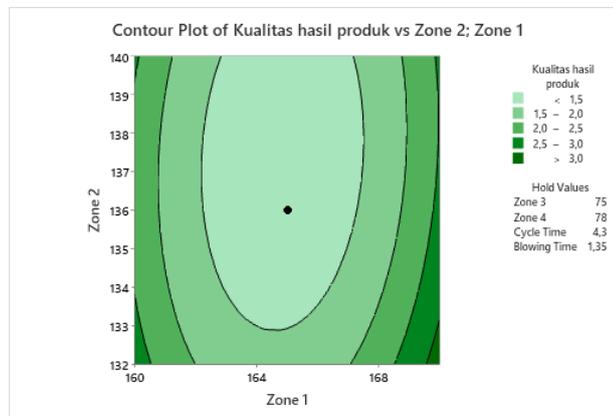


Gambar 2. Normal probability plot

Analisis contour plot dan surface plot

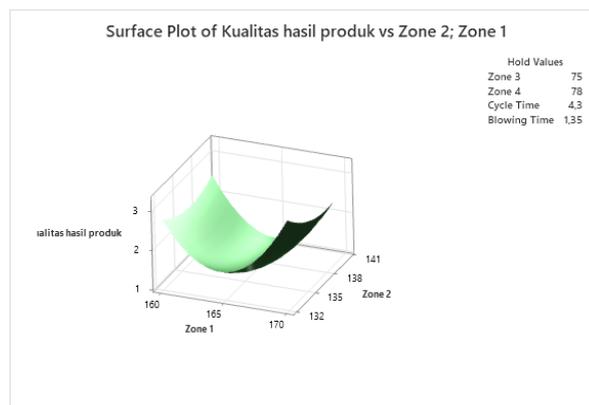
Setelah dilakukan pengujian kesesuaian model dan pengujian residual, selanjutnya adalah melakukan analisis *contour plot* dan *surface plot*. Berikut merupakan keterangan pada gambar *contour plot* dan *surface plot*:

- a. Jika pada gambar *contour plot* menghasilkan hasil respon berwarna biru atau angka respon 1, dapat diartikan hasil respon kualitas hasil produk baik, dan sebaliknya jika gambar *contour plot* menghasilkan respon warna hijau pekat atau angka respon >4, maka kualitas hasil produk tidak baik.
- b. Jika pada gambar *surface plot* menghasilkan gambar melengkung atau mengarah ke bawah, dapat diartikan hasil respon kualitas produk baik, dan sebaliknya jika gambar *surface plot* mengarah ke atas, maka kualitas hasil produk tidak baik.



Gambar 3. Contour plot dari kualitas hasil produk dengan zone 2; zone 1

Gambar 3. menampilkan bahwa kualitas hasil produk akan tercapai jika *zone 1* berada diantara level 160 - 170 dan *zone 2* berada di antara 132 - 140. Dengan *setting zone 1* dan *zone 2* pada level tersebut akan mendapatkan respon y kualitas hasil produk kurang dari 1,5 - 3,0.



Gambar 4 surface plot dari kualitas hasil produk vs zone 2; zone 1

Optimalisasi variabel respon

Untuk memperoleh nilai variabel faktor (*zone 1, 2, 3 dan 4, cycle time dan blowing time*) yang dapat mengoptimalkan variabel respon (kualitas hasil produk) maka digunakan metode *response surface* dengan melakukan pendekatan *desirability*. Fungsi *desirability* adalah untuk mencari nilai kombinasi dari variabel faktor (*zone 1, 2, 3, dan 4, cycle time dan blowing time*) untuk mendapatkan variabel respon (kualitas hasil produk) akan tetapi hasil produk tetap sesuai dengan ketentuan pihak perusahaan.

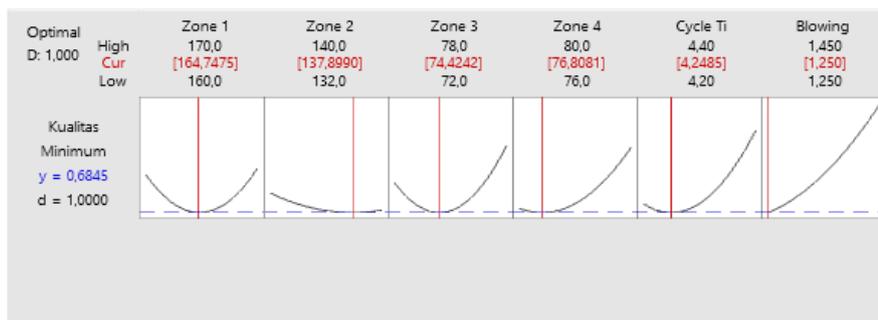
Persamaan nilai optimal dari variabel respon sebagai berikut:

$Y_{\text{kualitas hasil produk}} =$

$$1,167 + 0,125x_1 - 0,208x_2 - 0,042x_3 + 0,125x_4 - 0,333x_5 + 0,208x_6 + 1,333x_1^2 + 0,292x_2^2 + 1,5x_3^2 + 0,833x_4^2 + 1,167x_5^2 + 0,5x_6^2 - 0,125x_1x_2 + 0x_1x_3 - 0,063x_1x_4 + 0,5x_1x_5 - 0,25x_1x_6 + 0,125x_2x_3 - 0,125x_2x_4 - 0x_2x_5 + 0,125x_2x_6 - 0,25x_3x_4 - 0,375x_3x_5 - 0,25x_3x_6 + 0,25x_4x_5 - 1x_4x_6 - 1,625x_5x_6$$

Kriteria optimal yang digunakan untuk mendapatkan kualitas hasil produk yang telah disepakati perusahaan adalah pada tampilan visual botol yang baik (tidak berlubang, botol mengembang sesuai dengan bentuk molding, botol tidak miring, dan botol tidak menciut).

Berikut merupakan hasil dari pemrograman Minitab 21 menggunakan *respon surface optimizer*.



Gambar 5. Variasi variabel faktor yang menghasilkan respon optimal.

Pada Gambar 5, merupakan hasil optimalisasi variabel respon menggunakan RSM, hasil *setting* optimal yang diperoleh dilihat pada kata *cur* berwarna merah, berikut hasil yang diperoleh:

- *Zone 1* sebesar 164,7475°C
- *Zone 2* sebesar 137,8990°C
- *Zone 3* sebesar 74,4242°C
- *Zone 4* sebesar 76,8081°C
- *Cycle time* 4,2485 (s)
- *Blowing time* 1,250 (s)

Dengan pemilihan *setting* parameter berdasarkan pengolahan data menggunakan *software Minitab*, maka akan menghasilkan angka variabel respon $y = 0,6845$, angka tersebut lebih rendah dari pada angka respon 1, yang berarti hasil respon y akan lebih optimal jika menggunakan *setting* parameter tersebut. Sedangkan nilai *desirability* adalah 1,0000, menunjukkan kemampuan program untuk menghasilkan hasil respon y sudah sempurna.

5. Kesimpulan

Setting parameter sebelumnya menggunakan material jenis A *zone 1* = 170 °C, *zone 2* = 140 °C, *zone 3* = 78 °C, *zone 4* = 80 °C, *cycle time* 4,4 (s) dan *blowing time* 1,45 (s) menghasilkan banyak *defect*. Hasil penelitian menggunakan metode RSM, mendapatkan *setting* parameter yang optimal yaitu zona 1 adalah 164.7475°C, zona 2 adalah 137.8990°C, zona 3 adalah 74.4242°C, zona 4 adalah 76.8081°C, *cycle time* adalah 4.2485 (s) dan *blowing time* 1.250 (s), maka akan memperoleh variabel respon produk bernilai 0,6845 dengan nilai daya *desirability* 1.000.

Daftar Pustaka

- [1] T. Gunawan and M. A. Ferdhian, "GREEN STRATEGY PERUSAHAAN PLASTIK DALAM MENGHADAPI REGULASI PEMERINTAH," 2020. doi: <https://doi.org/10.26593/jab.v16i1.3798.57-69>.
- [2] M. Choirul Anwar, C. Budiyanoro, and T. Thoharudin, "Optimalisasi Parameter Proses Injeksi Menggunakan Simulasi Moldflow untuk Meminimalkan Cycle Time dan Eliminasi Short Shot pada

- Produk Tempai,” *JMPM (Jurnal Material dan Proses Manufaktur)*, vol. 2, no. 1, pp. 56–57, 2018, doi: 10.18196/jmpm.2121.
- [3] M. B. Amirullah and D. Yudistiro, “PENGARUH PARAMETER BARREL TEMPERATURE, BLOWINGTIME DAN BLOWING PRESSURE TERHADAP VOLUME PRODUK BOTOL,” *ELEMEN: JURNAL TEKNIK MESIN*, vol. 6, no. 2, pp. 77–86, Dec. 2019, doi: 10.34128/je.v6i2.108.
- [4] M. sariski dwi Ellianto, E. Pramitaningrum, and M. Ikhwan, “PENENTUAN SETTING PARAMETER PEMBUATAN PRODUK JERIGEN 5 L PADA PROSES BLOW MOULDING DENGAN MENGGUNAKAN RESPONSE SURFACE METHODOLOGY,” *ELEMEN: JURNAL TEKNIK MESIN*, vol. 9, no. 1, pp. 57–63, Aug. 2022, doi: 10.34128/je.v9i1.191.
- [5] S. Nur Ikhsan, C. Budiyanoro, T. Suwanda, and A. Nugroho, “Perancangan Injection Blowing Tools dengan Line Slider untuk Mesin Blow Molding dengan Kapasitas Volume 300 ML,” *JMPM (Jurnal Material dan Proses Manufaktur)*, vol. 2, no. 1, 2018, doi: 10.18196/jmpm.2120.
- [6] M. Mas’ud, “OPTIMASI PROSES MESIN STRETCH BLOW MOULDING PADA BOTOL 600 ML DENGAN METODE RSM (RESPONSE SURFACE METHODOLOGY) STUDI KASUS DI PT. UNIPLASTINDO INTERBUANA,” 2017.
- [7] Mawardi Indra, *Proses Manufaktur Plastik & Komposit*. 2018.
- [8] Kana Tommy, “Kajian defect pada botol HDPE 180 ml produk yogurt heavenly dengan mesin extrusion blow SMC B11 di PT X,” 2021.
- [9] J. Fajrin and N. Marchelina, “Aplikasi Metode Eksperimen Response Surface Untuk Mengoptimalkan Kuat Tekan Bata Non-Bakar,” *Jurnal Rekayasa Sipil*, vol. 13, pp. 79–90, 2017, doi: 10.25077/jts.13.2.79-90.2017.
- [10] M. A. Octaviani, D. Retno, S. Dewi, and L. J. Asrini, “OPTIMASI FAKTOR YANG BERPENGARUH PADA KUALITAS LILIN DI UD.X DENGAN METODE RESPONSE SURFACE,” *Jurnal Ilmiah Widya Teknik*, vol. 16, 2017.
- [11] Myers Raymond, *Response Surface Methodology*, Fouth Edition. 2016.
- [12] K. Purnama Putra, D. Djumhariyanto, and R. K. Koekoeh W, “OPTIMASI PRODUKSI TUTUP BOTOL 500 ml PADA PROSES INJECTION MOULDING MENGGUNAKAN METODE RESPONSE SURFACE,” 2017.
- [13] M. A. Md Ali *et al.*, “Fill Time Optimization Analysis In Flow Simulation Of Injection Molding Using Response Surface Method,” *Malaysian Journal on Composites Science and Manufacturing*, vol. 4, no. 1, pp. 28–39, Mar. 2021, doi: 10.37934/mjcs.4.1.2839.
- [14] G. K. Pakem, K. B. Ginting, M. A. Kleden, and J. Matematika, “PENERAPAN METODE RESPON PERMUKAAN DALAM OPTIMALISASI LABA USAHA PERTANIAN TANAMAN KANGKUNG DARAT,” 2019.
- [15] M. Gibran, “OPTIMASI WAKTU SIKLUS PRODUKSI KEMASAN PRODUK 50 ML PADA PROSES BLOW MOULDING DENGAN METODE RESPON PERMUKAAN,” 2016.