

Penerapan Metode *Six Sigma* pada IKM Manufaktur Industri Pendukung (*Supporting Industry*) untuk Meminimalkan Jumlah Produk Cacat

Cucu Wahyudin¹, dan Agung Apriliandi²

¹Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknologi Manufaktur, Universitas Jenderal Achmad Yani, Cimahi, Indonesia

¹cucuwahyudin100@gmail.com, ²agungapriliandi96@gmail.com

Abstrak

Industri pendukung merupakan industri yang membuat barang dan jasa, menjual ke pasar bebas atau ke industri lain untuk mendukung produk akhir yang memiliki nilai tambah. Karakteristik industri pendukung adalah *business to business*, sehingga efisiensi proses produksi menjadi kunci daya saingnya. Proses produksi yang efisien dapat meminimalkan cacat sehingga biaya produksi dapat diperkecil. Penelitian ini mengkaji penerapan metode *six sigma* di industri pendukung yang memproduksi alat peraga pendidikan. Penelitian dilakukan di perusahaan dengan tingkat kecacatan hingga 8,10 % pada produk cermin kombinasi. Nilai sigma produk tersebut sebesar 3,71 yang menunjukkan bahwa peluang untuk melakukan perbaikan proses masih sangat terbuka. Perbaikan proses dilakukan dengan menerapkan tahapan perbaikan DMAIC (*Define–Measure–Analyze–Improve–Control*). Pada tahap *define* diketahui yang menjadi cacat dominan adalah jenis cacat *Shrink Mark*, yaitu sebesar 31% dari keseluruhan jenis kecacatan produk. Penyebab terjadinya cacat tersebut adalah tidak adanya nilai *setting parameter* yang digunakan secara konsisten pada mesin *injection molding*. Melalui serangkaian eksperimen, penelitian ini menentukan nilai *setting parameter* yang dapat meminimalkan cacat jenis *shrink mark*. Faktor *setting parameter* terpilih adalah *cooling time* dan *holding pressure* dengan nilai masing masing selama 20 detik dan 105 MPa. *Reject rate* produk cermin kombinasi berhasil diminimalkan dan nilai sigma meningkat menjadi 4,13.

Kata kunci: *Cooling Time*, DMAIC, *Holding Pressure*, industri pendukung, *Six Sigma*

Abstract

Supporting industry is industries that make goods and services, sell to the free market, or to other industries to support their final products with greater value. With characteristics being business to business, the efficiency of the production process is the key. An efficient production process can minimize defects so that production costs can be minimized. This research is an application of the six sigma method in supporting industries that produce educational aids. Was conducted in a company with a defect rate of up to 8,10%, named combination mirror products with a sigma value is 3,71. Process improvement by implementing the DMAIC (*Define-Measure-Analyze-Improve-Control*). At the define stage, the dominant defect is the Shrink Mark defect, which is 31% of all types of product defects. The cause of defect is the absence of parameter setting values that are used consistently on the injection molding machine. Through experiments, this research determines the parameter setting values that can minimize shrink mark type defects. The selected parameter setting factors are Cooling Time and Holding Pressure with a value of 20 seconds and Holding Pressure of 105 MPa. The reject rate of the combination mirror product was successfully minimized and the sigma value increased to 4.13.

Keywords: *Cooling Time*, DMAIC, *Holding Pressure*, supporting industry, *Six Sigma*

1. Pendahuluan

Industri pendukung (*supporting industry*) adalah satu dari sepuluh program industri prioritas. Salah satu upaya pemerintah untuk memperkuat struktur industri diantaranya dengan melakukan pengembangan IKM pendukung (*supporting industry*) kluster industri. Industri pendukung kluster industri didefinisikan sebagai industri yang membuat barang dan jasa bukan untuk memenuhi kebutuhan sendiri, tetapi dijual ke pasar bebas atau ke industri lain untuk mendukung produk akhir yang memiliki nilai tambah yang tinggi (Departemen Perindustrian dan Perdagangan RI, 2003). Ciri/kriteria IKM industri pendukung adalah : (1) hasil produksinya dipasok ke pasar bebas/ke industri lain, (2) terjadi peningkatan nilai tambah, (3) bersifat substitusi impor, dan (4) pada umumnya berfungsi sebagai subkontraktor. Sebagai subkontraktor, efisiensi proses produksi menjadi cara untuk meminimalkan biaya produksi.

Six sigma adalah metoda yang sudah mapan dalam mengidentifikasi dan menghilangkan cacat, kesalahan atau kegagalan dalam proses atau sistem bisnis dengan berfokus pada karakteristik kinerja proses yang sangat penting bagi pelanggan (Snee, 2004). Meskipun *six sigma* telah diterapkan dengan sukses di banyak perusahaan besar, masih ada bukti yang kurang terdokumentasi tentang penerapannya di organisasi yang lebih kecil (Jiju et.al, 2005). Penelitian tentang penerapan *six sigma* di perusahaan kecil menengah diantaranya dilakukan oleh Kandil dan Aziz (2017), Scheller et al, (2017), dan Swarnakar, Tiwari dan Singh, (2020).

Info Makalah:

Dikirim : 08-04-20;
Revisi 1 : 04-08-21;
Revisi 2 : 05-21-21;
Revisi 3 : 06-29-21;
Diterima : 07-16-21.

Penulis Korespondensi:

Telp : +62 878-2149-5772
e-mail : cucuwahyudin100@gmail.com

Penelitian Kandil dan Aziz (2017) berfokus pada masalah yang terkait dengan rantai pasokan pada usaha kecil menengah di Mesir. Metoda *six sigma* dipakai untuk menjelajahi area yang perlu diperbaiki dan menilai dampak teknologi dalam meningkatkan kinerja perusahaan. Scheller et.al (2017) menunjukkan bahwa *Lean* dan *Six Sigma* diterapkan secara terpisah dalam dua program yang berbeda. Beberapa aspek yang diperlukan untuk meningkatkan integrasi kedua pendekatan telah diidentifikasi sambil mempertimbangkan setiap fase DMAIC dan pendekatan aktual yang diterapkan oleh perusahaan. Meskipun beberapa hasil positif telah dicapai, ada banyak faktor kritis dan kegagalan yang dapat mempengaruhi implementasi kedua pendekatan tersebut, seperti pelatihan karyawan dan perubahan lingkungan organisasi. Swarnakar, Tiwari, dan Singh (2020) melakukan penelitian dengan tujuan untuk mengidentifikasi, mengevaluasi dan mengembangkan model terstruktur yang mengukur keterkaitan antara faktor kegagalan kritis yang mempengaruhi implementasi *Lean Six sigma* yang berkelanjutan dalam organisasi manufaktur.

Penelitian ini akan mengkaji penerapan metoda *six sigma* di IKM industri pendukung yang memproduksi alat peraga pendidikan. Perusahaan menghadapi permasalahan cacat yang cukup tinggi pada beberapa produknya. Berdasarkan data produksi divisi plastik dari Bulan September 2018–Februari 2019, produk cermin kombinasi adalah produk plastik dengan tingkat kecacatan tertinggi. Tercatat produk cacat cermin kombinasi berjumlah 526 unit dari total 6.496 unit produk yang diproduksi, atau sebesar 8,10%. Adanya sejumlah unit cacat tersebut mengakibatkan kerugian sebesar Rp 8.942.000,- karena produk cacat tidak bisa digunakan untuk proses berikutnya maupun diproses ulang (*rework*). Proses *rework* untuk produk cacat tidak dapat dilakukan karena berpengaruh pada fungsi produk ketika digunakan.

Cacat jenis *shrink mark* merupakan cacat produk dengan persentase terbesar. Cacat *shrink mark* terjadi karena belum adanya standar operasi pengaturan *setting parameter* pada mesin *Injection Molding*, sehingga *setting parameter* yang digunakan oleh operator untuk produksi tidak konsisten (Dakshinamoorthi et.all, 2014). Faktor *setting parameter* dibutuhkan karena berkontribusi pada kualitas produk barang yang dihasilkan. Oleh karenanya perusahaan membutuhkan standar operasi pengaturan *setting parameter* yang dapat meminimalkan cacat *shrink mark*. Penentuan *setting parameter* ditentukan dengan melakukan perancangan eksperimen untuk meminimalkan produk cacat cermin kombinasi dengan kecacatan dominan jenis *shrink mark*.

2. Metode

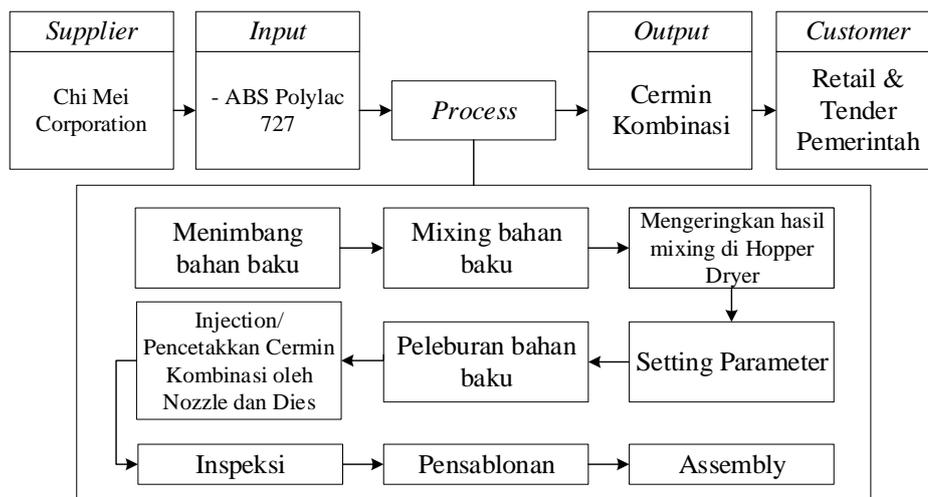
Penelitian dilakukan di industri manufaktur yang memproduksi alat peraga pendidikan dengan menggunakan pendekatan *Six Sigma*, Pyzdek dan Keller (2010), yang meliputi tahap *define, measure, analyse, improve, dan control*. Pada tahap *define* dilakukan pengamatan proses produksi, analisis data produksi dan identifikasi jenis – jenis cacat yang mungkin terjadi pada produk cermin kombinasi. Tahap *measure* melakukan pengukuran jumlah produk cacat serta capaian nilai sigma pada kondisi saat dilakukan penelitian. Tahap *analyze* mengidentifikasi akar penyebab masalah dengan menggunakan alat diagram pareto, *fishbone diagram* dan *failure mode effect analysis*. Pada tahap *improve* dilakukan perbaikan proses dengan menentukan *setting parameter* mesin *injection molding* melalui percobaan. Rancangan eksperimen faktorial dilakukan untuk menentukan *setting parameter* mesin injeksi *molding* yang dapat meminimalkan produk cacat. Tahap *control* dilakukan untuk menjaga konsistensi penggunaan nilai *setting parameter* yang diperoleh dari hasil eksperimen, yaitu dengan membuat *Standard Operating Procedure* penggunaan mesin *injection molding*.

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil pengamatan dan pengolahan data dengan menggunakan pendekatan *Six Sigma* untuk setiap tahapannya (DMAIC) disajikan sebagai berikut:

a. Define

Pada tahap *define* dilakukan observasi terhadap input material, proses produksi, dan keluaran produk yang dihasilkan yaitu produk cermin kombinasi. Observasi terhadap input material dilakukan dengan melakukan pengamatan sejak pemeriksaan material yang datang dari *supplier* oleh bagian QC, yaitu material ABS *polylac 727*. Observasi terhadap kegiatan proses produksi dilakukan pada setiap tahapan proses seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1, dan observasi pada keluaran dilakukan dengan melakukan pengukuran terhadap produk cermin kombinasi dan pengujian fungsinya.



Gambar 1. Diagram *Supplier-Input-Process-Output-Control*

Berdasarkan data observasi pada bulan September 2018 hingga bulan Februari 2019, kerugian yang ditanggung oleh perusahaan sebesar Rp 8.492.000,-. Kecacatan produk diduga disebabkan oleh nilai *setting parameter* mesin *injection molding* yang belum terstandar.

b. *Measure* (Pengukuran nilai DPMO dan level sigma pada kondisi awal)

Perhitungan nilai DPMO dan level sigma pada kondisi pengamatan (*existing*) dilakukan melalui delapan tahapan. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa level sigma pada kondisi *existing* adalah 3,71 yang menunjukkan terbukanya kesempatan untuk melakukan proses perbaikan, sehingga jumlah produk cacat dapat diminimalkan. Uraian perhitungan nilai sigma dijelaskan sebagai berikut:

- (1). *Unit* (U) = 6.496 unit.
- (2). *Opportunities* (OP) = 6
- (3). *Defect* (D) = 526 unit
- (4). *Defect per Unit* (DPU) = *Defect / Unit*
= 526 / 6.496 = 0,0809
- (5). *Total Opportunities* (TOP) = *Unit × Oppurtinities*
= 6.496 × 6 = 38.976
- (6). *Defect per Opportunities* (DPO) = *Defect / TOP*
= 526 / 38.976 = 0,0134
- (7). *Defect per Million Opportunities* (DPMO) = *DPO × 1.000.000*
= 0,0134 × 1.000.000
= 13.495,48
- (8). *Level sigma*
DPMO sebesar 13.495,48 berada diantara 13.553 dengan 13.209, maka level sigma adalah

$$\frac{13.209 - 13.495,48}{13.209 - 13.553} = \frac{3,72 - x}{3,72 - 3,71}, x = 3,71$$

c. *Analyze*

Data pengamatan dikelompokkan berdasarkan jenis cacat dan jumlah cacatnya, sehingga diperoleh data seperti yang disajikan pada Tabel 1. Data data pada Tabel 1 menunjukkan bahwa cacat *shrink mark* memiliki persentase jumlah cacat terbesar bila dibandingkan dengan cacat jenis lain, yaitu sebesar 31%. Oleh karenanya, minimalkan jumlah cacat pada jenis *shrink mark* akan dapat meminimalkan jumlah cacat produk secara keseluruhan. Penelitian ini berfokus pada perbaikan proses yang dapat meminimalkan jumlah cacat *shrink mark*.

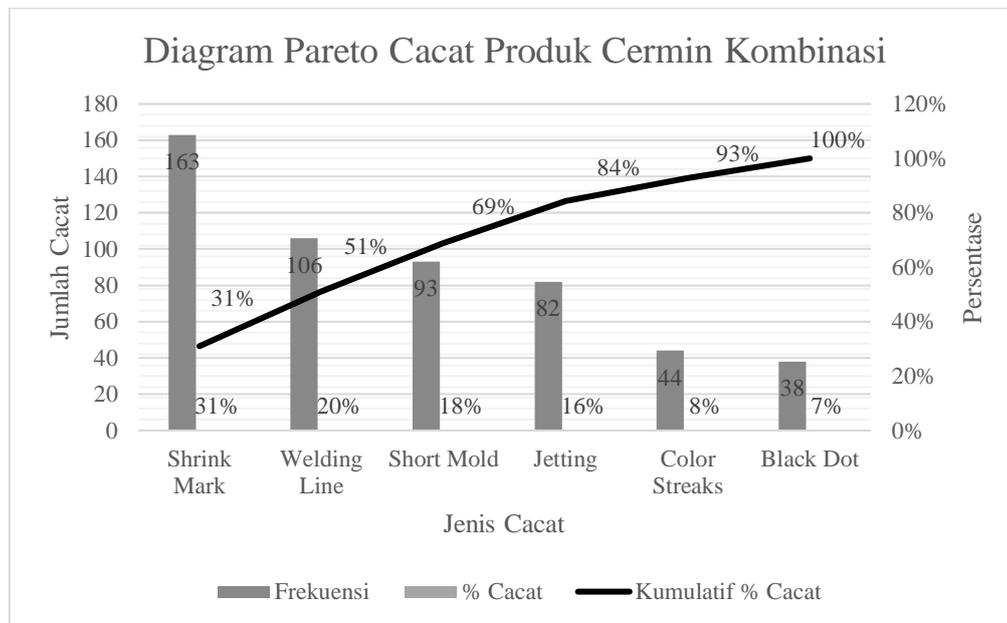
Tabel 1. Frekuensi Jenis – Jenis Cacat

| No | Jenis cacat | Jumlah cacat (frekuensi) | Kumulatif jumlah cacat | % Cacat | Kumulatif % cacat |
|----|----------------------|--------------------------|------------------------|---------|-------------------|
| 1 | <i>Shrink mark</i> | 163 | 163 | 31% | 31% |
| 2 | <i>Welding line</i> | 106 | 269 | 20% | 51% |
| 3 | <i>Short mold</i> | 93 | 362 | 18% | 69% |
| 4 | <i>Jetting</i> | 82 | 444 | 16% | 84% |
| 5 | <i>Color streaks</i> | 44 | 488 | 8% | 93% |
| 6 | <i>Black dot</i> | 38 | 526 | 7% | 100% |

Pada fase Analisis, diagram pareto digunakan bersama dengan *Cause Effect Diagram* dan *Failure Mode Effect Analysis* untuk menganalisis penyebab permasalahan yang dihasilkan dari hasil produksi produk cermin kombinasi sebelumnya.

1. Diagram Pareto

Diagram pareto adalah salah satu alat analisis berbentuk grafik batang vertikal yang menunjukkan beberapa hal dalam urutan yang diprioritaskan, sehingga diagram pareto bertujuan untuk menentukan masalah yang harus ditangani terlebih dahulu. Kategori diurutkan dalam urutan menurun dari kiri ke kanan dalam diagram pareto berdasarkan jumlah atau biayanya.

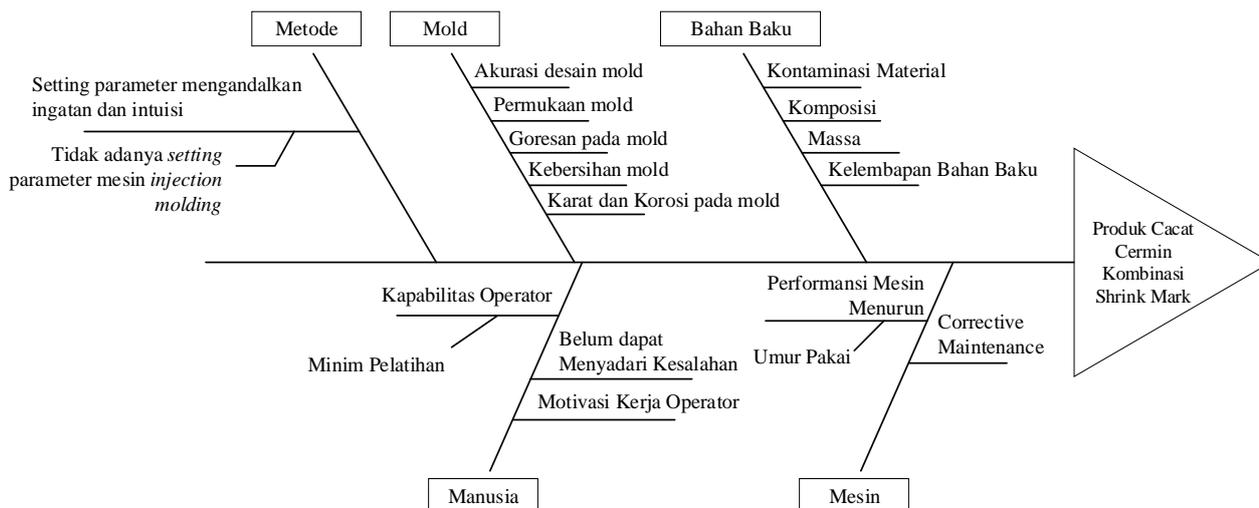


Gambar 2. Diagram Pareto Cacat Produk Cermin Kombinasi

Berdasarkan Gambar 2, dari enam jenis cacat yang teridentifikasi terdapat empat jenis cacat dengan persentase kumulatif sebesar 69% dari seluruh jenis cacat. Keempat jenis cacat tersebut yaitu *Shrink Mark*, *Welding Line*, *Short Mold* dan *Jetting*. *Shrink Mark* menjadi jenis cacat tertinggi dengan persentase cacat sebesar 31% yang menyebabkan hampir 70% produk cacat pada produk cermin kombinasi disebabkan oleh jenis cacat *shrink mark*. Besarnya persentase cacat jenis *shrink mark* mengindikasikan bahwa hal tersebut merupakan masalah yang perlu ditangani oleh pihak perusahaan dalam usaha meminimalkan *reject rate* yang cukup tinggi.

2. Fishbone

Cacat *shrink mark* diprioritaskan untuk diminimalkan dan dianalisis penyebab kecacatannya dengan menggunakan diagram *fishbone* seperti disajikan pada Gambar 3. Analisis dengan diagram *fishbone* didasarkan pada prinsip 5 M, yaitu material, mesin, metode, manusia, dan modal. Hasil analisis menunjukkan bahwa *shrink mark* sangat dipengaruhi oleh metode kerja, terutama menyangkut ukuran parameter mesin injeksi *molding* yang belum standar. Penelitian ini melakukan percobaan dengan menggunakan berbagai ukuran parameter proses, sehingga dapat diketahui nilai parameter yang memberikan cacat terkecil yang dapat dijadikan sebagai standar proses.



Gambar 3. Analisis Penyebab Cacat dengan *Fishbone Diagram*

3. FMEA (Failure Mode Effect Analysis)

Untuk memvalidasi perbaikan yang akan ditempuh, maka dilakukan analisis lanjutan berupa *FMEA (Failure Mode Effect Analysis)*. Berdasarkan hasil *FMEA* didapatkan dua nilai *RPN* tertinggi, yaitu *cooling time* dan *holding pressure* seperti ditunjukkan pada Tabel 2. Pada kedua faktor ini akan dilakukan proses perbaikan melalui eksperimen.

Tabel 2. Perhitungan Nilai *RPN* tertinggi

| Jenis Kegagalan | Langkah Proses | Proses Standar | Mode Kegagalan Potensial | Penyebab Potensi Kegagalan | S | O | D | RPN | Tindakan Rekomendasi | Rank |
|-----------------|-------------------|---|--------------------------------|--|---|---|---|-----|--|------|
| | Set-Up Mold | Mold set up dan start up | Salah memasang mold | Kodefikasi data mold | 6 | 4 | 3 | 72 | Revisi kodefikasi pendataan mold | 14 |
| | Setting Parameter | Sesuai dengan standar setting parameter setiap produk | Setting parameter belum sesuai | Tekanan injeksi | 7 | 7 | 5 | 245 | Menentukan setting parameter injeksi optimal | 5 |
| | | | | Tekanan tahan | 8 | 8 | 6 | 384 | Menentukan setting parameter tekanan tahan optimal | 2 |
| | | | | Waktu tahan | 6 | 7 | 5 | 210 | Menentukan setting parameter waktu tahan optimal | 6 |
| | | | | Waktu pendinginan | 8 | 8 | 6 | 384 | Menentukan setting parameter waktu pendinginan optimal | 2 |
| | | | | Suhu Mold | 6 | 6 | 5 | 180 | Menentukan setting parameter suhu leleh optimal | 7 |
| | | | | Suhu leleh | 7 | 8 | 6 | 336 | Menentukan setting parameter suhu leleh optimal | 3 |
| | | | | Kecepatan injeksi | 8 | 7 | 5 | 280 | Menentukan setting parameter kecepatan injeksi optimal | 4 |
| | Pemotongan Geram | Tidak adanya sisa Case pada produk | Terdapat sisa Case pada produk | Belum terdapat standar pemotongan geram | 7 | 6 | 4 | 168 | Membuat display berupa gambar produk tanpa geram | 8 |
| | | | | Tidak terdapat alat khusus pemotongan Case | 7 | 6 | 4 | 168 | Menyediakan alat potong khusus | 9 |

d. *Improve*

Pada tahap *improve* dilakukan perancangan eksperimen dengan tujuan untuk mengetahui faktor yang berpengaruh terhadap cacat *shrink mark*, yaitu berdasarkan nilai *RPN* tertinggi. Berikut langkah yang ditempuh dalam perancangan eksperimen.

1. Identifikasi Variabel Penelitian

Identifikasi variabel dilaksanakan agar penelitian dapat dilakukan secara terarah, yaitu dengan menentukan variabel terikat dan variabel bebas yang dapat mempengaruhi tujuan untuk meminimasi cacat *shrink mark*. Daftar variabel yang digunakan pada penelitian ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Variabel Penelitian

| No | Nama variabel | Jenis variabel |
|----|-------------------|------------------|
| 1 | Cacat shrink mark | Variabel terikat |
| 2 | Cooling time | Variabel bebas |
| 3 | Holding pressure | Variabel bebas |

Cacat *shrink mark* menjadi variabel terikat karena dipengaruhi oleh faktor – faktor nilai *setting parameter* (Dakshinamoorthi et.al, 2014). Penentuan variabel bebas *cooling time* dan *holding pressure* dikarenakan cacat *shrink mark* terjadi pada proses *packing* dan *cooling*. Pada saat proses *packing*, *holding pressure* berfungsi untuk menahan agar material terinjeksi sempurna memenuhi area cetakan. Sementara *cooling time* berfungsi agar pada saat pendinginan seluruh bagian produk mendingin dan mengeras lebih merata untuk meminimalkan terdapatnya bagian yang belum mengeras.

2. Identifikasi Metode Eksperimen & Karakteristik Eksperimen

Berdasarkan banyaknya jumlah variabel bebas yang telah ditentukan, yakni sebanyak dua faktor, maka digunakan metode eksperimen faktorial 3^2 dengan dua faktor yang dipelajari dan tiga taraf perlakuan untuk masing–masing faktornya.

- Penentuan lamanya *cooling time*

Penentuan lamanya waktu pendinginan pada *setting parameter* mesin *injection molding* secara teoritis menggunakan persamaan Ballman dan Shusman (1959).

$$S = \frac{-T^2}{2 \times \pi \times \alpha} \ln \left[\frac{\pi}{4} \times \frac{(T_r - T_m)}{(T_c - T_m)} \right] \tag{1}$$

- (1). T : 2.95 mm²
- (2). T_m : 35°C
- (3). α : 0,1156 (mm²/s)
- (4). T_c : 185°C
- (5). T_r : 88°C

$$S = \frac{-2.95^2 \text{ mm}^2}{2 \times 3.14 \times 0.1156 \text{ mm}^2/\text{s}} \ln \left[\frac{3.14}{4} \times \frac{(88^\circ\text{C} - 35^\circ\text{C})}{(185^\circ\text{C} - 35^\circ\text{C})} \right]$$

$$S = \frac{-8.7025 \text{ mm}^2}{0.7259 \text{ mm}^2/\text{s}} \ln \left[\frac{3.14}{4} \times \frac{(65^\circ\text{C})}{(135^\circ\text{C})} \right]$$

$$S = -11.9885 \times -1.2824$$

$$S = 15.37 \text{ detik}$$

- Penentuan besarnya *holding pressure*

Besarnya tekanan tahanan yang digunakan untuk penelitian ini menyesuaikan dengan penggunaan tekanan injeksi, yakni sebesar 70 – 80% dari tekanan injeksi.

Berdasarkan perhitungan waktu minimal *cooling time* dan *holding pressure* maka ditentukan tiga taraf perlakuan seperti yang diperlihatkan pada Tabel 4. Dasar penentuan tiga taraf tersebut adalah untuk mengetahui perbandingan hasil antar kondisi percobaan apabila berada dibawah, tepat, dan diatas angka parameter minimal yang disarankan.

Tabel 4. Penentuan Taraf Setiap Faktor

| Kode | Faktor | Taraf 1 | Taraf 2 | Taraf 3 |
|------|-------------------------|----------|----------|----------|
| A | <i>Cooling time</i> | 10 detik | 16 detik | 20 detik |
| B | <i>Holding pressure</i> | 90 MPa | 100 MPa | 105 MPa |

3. Data Hasil Eksperimen
- Data Hasil Eksperimen

Tabel 5. Data Jumlah Cacat Eksperimen dalam Unit

| Cooling Time | Holding Pressure | | | Total Baris |
|--------------|------------------|---------|---------|-------------|
| | 90 MPa | 100 MPa | 105 MPa | |
| 10 detik | 10 | 7 | 8 | 47.00 |
| | 8 | 7 | 7 | |
| Jumlah | 18.00 | 14.00 | 15.00 | |
| 16 detik | 5 | 5 | 4 | 24.00 |
| | 4 | 3 | 3 | |
| Jumlah | 9.00 | 8.00 | 7.00 | |
| 20 detik | 5 | 3 | 2 | 20.00 |
| | 4 | 4 | 2 | |
| Jumlah | 9.00 | 7.00 | 4.00 | |
| Total Kolom | 36.00 | 29.00 | 26.00 | 91.00 |

- Analisis Faktorial

Tabel 6. Analysis of Variance (ANOVA)

| Sumber Variasi | SS | Df | MS | F hitung | F tabel | Kesimpulan |
|--------------------------|-------|----|--------|----------|---------|-------------------|
| Faktor (A) | 70.78 | 2 | 35.39 | 49.01 | 4.26 | Berpengaruh |
| Faktor (B) | 8.78 | 2 | 4.39 | 6.08 | 4.26 | Berpengaruh |
| Interaksi A&B | 2.89 | 4 | 0.7225 | 1.09 | 3.63 | Tidak berpengaruh |
| Error | 6.5 | 9 | | | | |
| Total | 88.95 | | | | | |

Pada penelitian ini kedua faktor yang diuji yakni *cooling time* dan *holding pressure* dinyatakan berpengaruh terhadap terjadinya cacat produk cermin kombinasi seperti yang ditunjukkan pada Tabel 5. Hal ini juga dapat dilihat pada Tabel 6 bahwa F hitung kedua faktor tersebut lebih besar apabila dibandingkan dengan F tabel. Sedangkan interaksi antara faktor *cooling time* dan *holding pressure* tidak berpengaruh terhadap terjadinya cacat pada produk cermin kombinasi.

- Uji Setelah ANOVA (*Uji Scheffee*)

Uji scheffe digunakan untuk membandingkan pasangan rata-rata perlakuan. *Uji Scheffe* dapat dilihat berdasarkan nilai signifikan yang dihasilkan menggunakan *software* SPSS. Jika nilai Sig. < 0,05, maka variabel bebas signifikan terhadap variabel tak bebas. Jika nilai Sig. > 0,05, maka variabel bebas tidak berpengaruh signifikan terhadap variabel terikat. Agar dapat dengan mudah dipahami, maka *setting parameter* optimal dapat dilihat dari nilai subset terkecil.

Tabel 7. *Homogeneous Subset*

| <i>Cooling time</i> | <i>Subset</i> | | <i>Holding pressure</i> | <i>Subset</i> | |
|---------------------|---------------|-------|-------------------------|---------------|-------|
| | 1 | 2 | | 1 | 2 |
| 20 detik | 3.333 | - | 105 MPa | 4.333 | - |
| 16 detik | 4.000 | - | 100 MPa | 4.833 | 4.833 |
| 10 detik | - | 7.833 | 90 MPa | - | 6.000 |
| Sig. | 0.432 | 1.000 | Sig. | 0.612 | 0.112 |

Maka kondisi *setting parameter* optimal untuk *cooling time* adalah 20 detik dan *setting parameter* optimal untuk *holding pressure* adalah 105 MPa.

4. Eksperimen Konfirmasi

Eksperimen konfirmasi dilakukan untuk mengetahui hasil dari nilai *setting parameter* terpilih. Hasil eksperimen konfirmasi dapat dilihat pada Tabel 7 yang menunjukkan bahwa jumlah produk cacat minimum terjadi pada percobaan 1, 2, dan 4. Oleh karenanya, parameter pada percobaan 1, 2, dan 4 berpeluang untuk dijadikan sebagai parameter standar.

Tabel 8. Hasil Eksperimen Konfirmasi

| Eksperimen | Jumlah produk eksperimen | Produk oke | Produk cacat | % Cacat |
|------------|--------------------------|------------|--------------|---------|
| 1 | 100 | 98 | 2 | 2.04% |
| 2 | 100 | 98 | 2 | 2.04% |
| 3 | 100 | 96 | 4 | 4.17% |
| 4 | 100 | 98 | 2 | 2.04% |
| 5 | 100 | 97 | 3 | 3.09% |

Perhitungan nilai DPMO dan level sigma setelah percobaan dilakukan dengan menggunakan delapan tahap perhitungan sebagai berikut:

- (1). *Unit* (U) = 500 unit.
- (2). *Opportunities* (OP) = 6
- (3). *Defect* (D) = 13 unit
- (4). *Defect per Unit* (DPU) = $Defect / Unit = 13/500 = 0,026$
- (5). *Total Oppurtunities* (TOP) = $Unit \times OP = 500 \times 6 = 3.000$
- (6). *Defect per Oppurtunities* (DPO) = $D / TOP = 13 / 3.000 = 0,0043$
- (7). *Defect per Million Oppurtunities* (DPMO) = $DPO \times 1.000.000 = 0,0043 \times 1.000.000 = 4.333,33$
- (8). *Level sigma*: DPMO sebesar 4.333,33 berada diantara 4.397 dengan 4.269

$$= \frac{4.269 - 4.333,33}{4.269 - 4.397} = \frac{4,13 - x}{4,13 - 4,12}, x = 4,13$$

5. Perbandingan Sebelum & Sesudah Eksperimen

Setelah proses perbaikan, rata-rata level sigma naik dari 3,71 menjadi 4,13. Hal ini menunjukkan bahwa parameter mesin *injection molding* yang diperoleh dari hasil eksperimen dapat menurunkan jumlah produk cacat.

Tabel 9. Perbandingan Sebelum dan Sesudah Improvement

| Keterangan | Sebelum <i>improvement</i> | Setelah <i>improvement</i> |
|--------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| DPMO | 13.495,48 | 4.333,33 |
| Rata – rata Level Sigma | 3,71 | 4,13 |

e. Control

Langkah terakhir yang dilakukan pada penelitian ini adalah membuat *Standard Operating Procedure* (SOP) *setting parameter* mesin *injection molding* untuk produk cermin kombinasi agar terdapat standar baku perusahaan. Usulan SOP yang dibuat dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 10. Standar Operasi Prosedur Produksi Cermin Kombinasi

| Standar Operasi Prosedur Cermin Kombinasi | | | |
|--|-------|--------------------------------|--------|
| Nomor Mold | 321 | Nomor Mesin | |
| Nomor Gambar | - | Komposisi Warna | - |
| Bahan | ABS | Suhu Pengeringan | 82°C |
| Warna | Murni | Lama Pengeringan | 2 jam |
| Cavity | 2 | Penggunaan Mold Release Setiap | 5 shot |
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Siapkan <i>mold</i> 0321. 2. <i>Set up mold</i> 0321 pada mesin <i>Injection Molding</i>. 3. Siapkan bahan baku ABS <i>Polylac 727</i>. 4. Timbang sesuai dengan kapasitas <i>Hooper</i>. 5. Apabila terdapat permintaan khusus produk berwarna maka campur bahan baku ABS <i>Polylac 727</i> dengan pewarna pada mesin <i>mixing</i> disesuaikan dengan komposisi warna yang akan digunakan (lihat berbagai warna pada <i>storage</i>). 6. Masukkan bahan baku pada <i>Hooper</i>, atur suhu pengeringan pada 82°C dengan lama pengeringan selama 2 jam. 7. Atur parameter Tekanan Injeksi pada 130 MPa. 8. Atur parameter Tekanan Tahan pada 105 MPa. 9. Atur parameter Waktu Tahan pada 7 detik. 10. Atur parameter Waktu Pendinginan pada 20 detik. 11. Atur parameter Suhu Mold pada 35°C. 12. Atur parameter Suhu Injeksi pada 185°C. 13. Atur parameter Kecepatan Injeksi pada 35 mm/s. 14. Produk diinspeksi secara internal dengan melihat secara visual. Bentuk Sempurna terisi penuh sesuai cetakan Tidak terdapat cekungan Permukaan Tidak terdapat goresan | | | |

- Tidak terdapat permukaan gosong
- Tidak terdapat titik hitam
- Tidak terdapat semburan
- Garis pertemuan tidak terlalu panjang
- Warna
- Warna tidak belang
- 15. Setiap 5 kali setelah melepaskan produk dari *mold*, semprot bagian dalam *mold* dengan *mold release*.
- 16. Buang *flash* yang terdapat pada produk.

Analisis dan Kesimpulan

Berdasarkan perhitungan *level sigma* selama eksperimen konfirmasi produk cermin kombinasi, diperoleh nilai *level sigma* sebesar 4,13. Nilai *level sigma* menunjukkan bahwa terdapat peluang terjadinya produk cacat sebesar 4.333,33 DPMO. Hasil eksperimen juga menunjukkan kenaikan nilai *sigma* dengan selisih sebesar 0,41. Oleh karenanya dapat disimpulkan bahwa perbaikan kualitas dengan menentukan parameter mesin *injection molding* untuk produksi cermin kombinasi mampu meningkatkan *level sigma* sebesar 0,41.

Lamanya waktu pendinginan (*cooling time*) berpengaruh dalam meminimalkan produk cacat cermin kombinasi, khususnya jenis cacat *shrink mark*. Hal ini terjadi karena waktu pendinginan menjadi penentu besar kecilnya penyusutan pada sebuah produk yang telah diinjeksi dalam keadaan panas meleleh menuju pada keadaan dingin padat, sehingga semakin lama waktu pendinginan akan meminimalkan penyusutan yang dapat berdampak pada terbentuknya cekungan pada produk.

Tekanan tahan (*holding pressure*) berpengaruh pada saat proses *packing* (pengemasan/transisi cair ke padat) bahan baku terhadap cetakan. *Holding pressure* perlu dijaga dengan tekanan yang sesuai, sehingga bentuk dari produk akan sesuai dengan *dies/mold*. Interaksi antara faktor waktu pendinginan dan faktor tekanan tahan tidak berpengaruh karena tidak adanya hubungan antara faktor-faktor tersebut, sehingga tidak mempengaruhi timbulnya produk cacat cermin kombinasi.

Walaupun terdapat peningkatan nilai *sigma* dan penurunan nilai DPMO, penelitian lebih lanjut perlu dilakukan. Usulan nilai *parameter* faktor waktu pendinginan optimal selama 20 detik akan menambah waktu siklus produksi cermin kombinasi. Jika sebelum proses perbaikan (*improvement*) waktu penyelesaian selama 1,15 menit kini menjadi 1,40 menit. *Ouput* produk akan berkurang sebanyak 50 buah, dengan total produk yang dapat diproduksi dalam sehari kerja (waktu efektif produksi dalam sehari kerja adalah 315 menit ~ 5,25 jam) adalah 225 buah. Penggunaan alternatif lama waktu pendinginan pada taraf 2 selama 16 detik dinilai masih layak digunakan, karena lamanya waktu pendinginan masih berada dalam minimal waktu pendinginan secara teoritis. Produk yang dihasilkan sebanyak 237 unit, dengan rata – rata produk cacat yang dihasilkan memiliki selisih sebesar 0,7 dari perlakuan taraf ketiga. Oleh karenanya perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk waktu pendinginan selama 16 detik.

Daftar Notasi

- S = *Severity*
- O = *Occurance*
- D = *Detection*
- RPN = *Risk Priority Number*
- S = *Cooling Time (sec)*
- T = *Product Thickness (mm²)*
- α = *Thermal Diffusivity Material (mm²/s)*
- Tr = *Ejection Temperature (°C)*
- Tm = *Mold Temperature (°C)*
- Tc = *Cylinder Temperature (°C)*

Daftar Pustaka

- A.C. Scheller, T.T.S. Zomer, P.A.C. Miguel. (2017). Lean Six Sigma in developing countries: evidence from a large Brazilian manufacturing firm. *International Journal of Lean Six Sigma* Vol. 12 No. 1, 2021 pp. 3-22 © Emerald Publishing Limited 2040-4166 DOI 10.1108/IJLSS-09-2016-0047.
- Ballman, R., & Shusman, T. (1959). Easy way to calculate injection molding set-up time. *Modern Plastic*.
- Dakshinamoorthi, M., Ghazaly, N., Vidhya, R. (2014). Minimization of Sink Mark Defects In Injection Molding Process – Taguchi approach. *International Journal of Engineering, Science and Technology*, 2.
- Departemen Perindustrian dan Perdagangan RI. (2003). Rencana Induk Pengembangan Industri Kecil Menengah 2002-2004.

- Jiju Antony, Maneesh Kumar, Christian N. Madu, (2005), "Six sigma in small- and medium-sized UK manufacturing enterprises: Some empirical observations", *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol. 22 Iss: 8 pp. 860 - 874
- Kandil, O., R.A.E. Aziz. (2017). Evaluating the supply chain information flow in Egyptian SMEs using Six Sigma : A case study. *International Journal of Lean Six Sigma* Vol. 12 No. 1, 2021 pp. 120-148 © Emerald Publishing Limited 2040-4166 DOI 10.1108/IJLSS-10-2016-0066.
- Pyzdek, T., Keller, P. A. (2010). *The Six Sigma Handbook*. Mc Graw Hill.
- Snee, R.D. (2004), "Six sigma: the evolution of 100 years of business improvement methodology", *International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage*, Vol. 1 No. 1, pp. 4-20.
- V. Swarnakar., A.K. Tiwari., A.R. Singh. (2020). Evaluating critical failure factors for implementing sustainable lean six sigma framework in manufacturing organization : A case experience. *International Journal of Lean Six Sigma* Vol. 11 No. 6, 2020 pp. 1069-1104 © Emerald Publishing Limited 2040-4166 . DOI 10.1108/IJLSS-05-2019-0050.