

Pengendalian Kualitas Produksi Kaca Automotif LNFL 2 mm Laminated PT. Asahimas Flat Glass Tbk. Sidoarjo Menggunakan Metode *Six Sigma*

Angga Dwi Yanuar Putra dan Lucia Aridinanti

Jurusan Statistika, Fakultas MIPA, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail: anggadwiy@gmail.com dan luciaaridinanti@gmail.com

Abstrak—PT. Asahimas Flat Glass Tbk, Sidoarjo merupakan perusahaan yang bergerak di bidang produksi kaca lembaran di Indonesia dengan produksi terbanyak adalah kaca automotif jenis LNFL 2 mm laminated. Masalah kualitas yang terjadi adalah semakin meningkatnya jenis cacat sekunder *cullet* yang mencapai 1400% dan jenis cacat *scratch* yang mencapai 100% pada bulan Juli 2015, serta jenis cacat *chipping* yang mencapai 1800% pada bulan Oktober 2015. Selain itu, terjadi penurunan level *sigma* variabel pada kaca jenis DN, yaitu dari sebesar 3,63 σ pada bulan Januari hingga April 2015 menjadi 2,98 σ pada bulan Mei hingga Oktober 2015. Untuk meningkatkan indeks kapabilitas, dilakukan perbaikan dan pada tugas akhir ini perbaikan tersebut dianalisis dengan metode *six sigma* dengan hasil perbaikan telah mampu menaikkan level *sigma* variabel kaca jenis DN dari 2,93 σ menjadi 3,36 σ dan untuk jenis E naik dari 3,61 σ menjadi 4,00 σ . Level *sigma* atribut kaca jenis DN mengalami kenaikan dari 3,54 σ menjadi 3,55 σ . dan untuk jenis E naik dari 3,45 σ menjadi 3,48 σ . Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa perbaikan telah mampu meningkatkan indeks kapabilitas dan level *sigma* sehingga mampu mengurangi jumlah produk yang berada di luar batas spesifikasi atribut dan variabel

Kata Kunci—Indeks Kapabilitas Proses, Level Sigma, LNFL, Perbaikan, *Six Sigma*.

I. PENDAHULUAN

Kaca lembaran (*flat glass*) merupakan salah satu komoditi yang berpengaruh terhadap tingginya kontribusi industry non migas terhadap pertumbuhan ekonomi Indonesia yang cenderung meningkat dari tahun 2009 hingga 2015 dengan kapasitas produksi mencapai 1,45 juta ton per tahun [1]. PT. Asahimas Flat Glass Tbk, Sidoarjo merupakan perusahaan yang bergerak di bidang produksi kaca lembaran di Indonesia dengan produksi terbanyak adalah kaca automotif jenis LNFL 2 mm laminated. Kaca jenis LNFL laminated ini juga diproduksi untuk dalam negeri (DN) dan ekspor (E) Banyaknya produksi kaca automotif disebabkan oleh semakin tingginya penggunaan mobil di Indonesia yang ditandai dengan adanya kenaikan jumlah mobil di Indonesia dari tahun 1987 hingga 2013 dengan total sekitar 11,4 juta mobil pada tahun 2013 [2]. Hal ini berakibat langsung pada naiknya jumlah permintaan pada kaca automotif.

Kualitas merupakan kemampuan sebuah produk atau jasa untuk memenuhi kebutuhan pelanggan. PT.

Asahimas Flat Glass Tbk. Sidoarjo selalu berusaha menjaga kualitas produknya dengan melakukan pengendalian kualitas sehingga perusahaan dapat memenuhi kebutuhan dan kepuasan konsumen secara optimal. Untuk meningkatkan kualitas, departemen *Quality Control* (QC) perlu menerapkan langkah *improvement* yang berkelanjutan sehingga kecacatan produk dapat dihindari. Pengendalian kualitas produk yang telah diterapkan oleh departemen QC pada karakteristik atribut masih sebatas perhitungan jumlah dan rasio cacat. Oleh karena itu, perlu dilakukan evaluasi dengan menggunakan pendekatan *Six Sigma* untuk menganalisis data periode pertama (sebelum *improvement*) dan data periode kedua (setelah *improvement*).

Penelitian sebelumnya menggunakan metode *six sigma* didapatkan bahwa pengendalian kualitas proses produksi kaca lembaran jenis laminated di PT. X didapatkan hasil adanya kenaikan level *sigma* atribut pada kaca tipe E dari 3,32 σ menjadi 3,59 σ dan pada data variabel dari 2,91 σ menjadi 3,52 σ . Untuk kaca tipe DN mengalami kenaikan level *sigma* atribut dari 3,24 σ menjadi 3,46 σ , sedangkan pada data variabel mengalami penurunan dari 3,63 σ menjadi 2,98 σ [3]. Penelitian yang lain mengenai *Six Sigma* pada pengendalian kualitas casing pompa dengan *tools attribute agreement analysis* dan peta kendali *p* dimana didapatkan kesimpulan bahwa sistem pengukuran sudah baik dan level *sigma* terendah dimiliki oleh area *dipping* yaitu 3,25 σ [4].

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Pengujian Dependensi Variabel

Salah satu asumsi yang harus dipenuhi dalam analisis multivariat adalah adanya hubungan (korelasi) antar variabel (karakteristik kualitas) dengan hipotesis sebagai berikut.

$$H_0 : \rho = \mathbf{I}$$

$$H_1 : \rho \neq \mathbf{I}$$

H_0 ditolak jika nilai $\chi^2_{hitung} \leq \chi^2_{\frac{1}{2}p(p-1)}$ atau *P-value* < α , dengan statistik uji sebagai berikut [5].

$$\chi^2_{hitung} = -\left\{n - 1 - \frac{2p+5}{6}\right\} \ln|\mathbf{R}| \quad (1)$$

B. Pengujian Distribusi Normal Multivariat

Uji normalitas digunakan untuk mengetahui apakah sampel yang diambil berasal dari distribusi normal atau

tidak. Metode yang digunakan dalam uji normalitas data multivariat pada penelitian ini adalah uji *Shapiro-Wilk* dengan hipotesis sebagai berikut.

H_0 : Data memenuhi asumsi Normal Multivariat

H_1 : Data tidak memenuhi asumsi Normal Multivariat

H_0 ditolak jika nilai $W^* < c_{\alpha,n,p}$ [6] atau $P\text{-value} < \alpha$, dengan statistik uji sebagai berikut.

$$W^* = \frac{1}{p} \sum_{j=1}^p W_{z_j} \quad (2)$$

C. Uji Perbedaan Rata-Rata Dua Populasi

Uji perbedaan rata-rata dua populasi adalah suatu uji yang digunakan untuk membandingkan dua populasi yang variabelnya multivariate dengan hipotesis sebagai berikut.

$H_0 : \mu_1 - \mu_2 = 0$

$H_1 : \mu_1 - \mu_2 = 0$

H_0 ditolak jika nilai $T^2 > \chi_{\alpha,p}^2$ dengan statistik uji sebagai berikut [7].

$$T^2 = (\bar{x}_1 - \bar{x}_2)' \left[\frac{1}{n_1} S_1 + \frac{1}{n_2} S_2 \right]^{-1} (\bar{x}_1 - \bar{x}_2) \quad (3)$$

D. Uji Proporsi Dua Populasi

Uji proporsi dilakukan untuk mengetahui ada tidaknya pergeseran proses dilihat dari ada tidaknya perbedaan antara proporsi populasi pertama dengan populasi kedua dengan hipotesis sebagai berikut.

$H_0 : p_1 = p_2$

$H_1 : p_1 \neq p_2$

H_0 ditolak pada tingkat signifikansi α jika $|Z_0| > Z_{\alpha/2}$ atau $P\text{-value} < \alpha$ dengan statistik uji sebagai berikut [7].

$$Z_0 = \frac{\hat{p}_1 - \hat{p}_2}{\sqrt{\hat{p}(1-\hat{p}) \left[\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right]}} \quad (4)$$

E. Pengendalian Kualitas Statistik

Pengendalian kualitas statistik merupakan suatu aplikasi dari teknik statistic yang digunakan untuk mengontrol suatu proses. Pada SPC dikenal beberapa alat statistik yang sering digunakan, antara lain *check sheet*, histogram, diagram pareto, diagram sebab-akibat, stratifikasi, *scatter diagram*, Peta kendali (*control chart*) [8].

1) Peta Kendali c

Peta kendali *c* menggunakan distribusi *Poisson* sebagai dasar perhitungan dimana rumus untuk menghitung batas kendali adalah sebagai berikut [8].

$$\begin{aligned} BKA &= \bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}} \\ \text{Garis tengah} &= \bar{c} \\ BKB &= \bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}} \end{aligned} \quad (5)$$

2) Peta Kendali Generalized Variance

Salah satu peta kendali yang digunakan untuk mengevaluasi variabilitas proses pada pengamatan yang bersifat multivariat adalah peta kendali *Generalized Variance* [9]. Batas kendali untuk peta *Generalized Variance* adalah sebagai berikut

$$\begin{aligned} BKA &= \frac{|S|}{b_1} (b_1 + \sqrt{3b_2}) \\ \text{Garis tengah} &= |S| \\ BKB &= \frac{|S|}{b_1} (b_1 - \sqrt{3b_2}) \end{aligned} \quad (6)$$

3) Peta Kendali T^2 Hotelling

Peta kendali T^2 *Hotelling* merupakan peta kendali yang digunakan untuk mengendalikan *mean* suatu proses multivariat [8]. Batas kendali untuk fase I adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} BKA &= \frac{p(m-1)(n-1)}{mn-m-p+1} F_{\alpha,p,mn-m-p+1} \\ BKB &= 0 \end{aligned} \quad (7)$$

Batas kendali untuk fase II adalah sebagai berikut

$$\begin{aligned} BKA &= \frac{p(m+1)(n-1)}{mn-m-p+1} F_{\alpha,p,mn-m-p+1} \\ BKB &= 0 \end{aligned} \quad (8)$$

4) Identifikasi Variabel Penyebab Out of Control

Penentuan variabel penyebab *out of control* dapat dilakukan dengan menggunakan metode dekomposisi nilai statistik uji T^2 *Hotelling*, yaitu dengan menghitung selisih antara nilai T^2 dengan nilai χ^2 , atau dapat dinyatakan dengan rumus seperti berikut [8].

$$d_j = T^2 - T_j^2; j = 1, 2, \dots, p \quad (9)$$

Jika nilai $d_j > \chi_{\alpha,1}^2$, maka dapat disimpulkan bahwa variabel ke- j adalah penyebab *out of control*.

5) Diagram Pareto

Diagram Pareto adalah sebuah diagram batang yang dipadukan dengan diagram garis untuk merepresentasikan suatu parameter yang diukur (bisa berupa frekuensi kejadian atau nilai tertentu) sehingga dapat diketahui parameter dominan [8].

6) Diagram Sebab-Akibat (Ishikawa)

Diagram sebab akibat juga dikenal sebagai diagram *ishikawa* atau tulang ikan (*fish bone*) dimana berfungsi untuk mengidentifikasi penyebab dari suatu masalah [8].

F. Analisis Kapabilitas Proses

Kapabilitas proses adalah kemampuan suatu proses untuk menghasilkan suatu produk/ jasa sesuai dengan spesifikasi yang diharapkan. Menurut Raissi [10], Indeks kapabilitas multivariat dapat dihitung menggunakan *weighting average* dimana bobot yang digunakan adalah 0,333 untuk tiap variabel. Rumus perhitungannya adalah sebagai berikut.

$$MC_p = \sum_{j=1}^p W_j C_p(X_j) \quad (10)$$

$$MC_{pk} = \sum_{j=1}^p W_j C_{pk}(X_j)$$

Proses dikatakan kapabel secara multivariat jika nilai $C_p \geq 1$. Pengukuran kapabilitas proses untuk peta kendali *c* menggunakan indikator *Equivalent $\hat{P}_{PK}^{\%}$* dengan rumus sebagai berikut [11].

$$\text{Equivalent } \hat{P}_{PK}^{\%} = \frac{Z(\hat{p}')}{3} \quad (11)$$

G. Six Sigma

Six sigma adalah usaha terus-menerus untuk menurunkan varian dan mencegah cacat dari sebuah proses dengan mengaplikasikan alat-alat statistik serta teknik untuk mereduksi cacat sampai didefinisikan tidak lebih dari 3 atau 4 cacat dari satu juta kesempatan untuk mencapai kepuasan pelanggan secara total [12]. Peningkatan kualitas menuju target 6 σ dapat dilakukan dengan dua metode, yaitu *Six Sigma - DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, Control)* dan *Design for Six Sigma - DMADV (Define, Measure, Analyze, Design, Verify)*. Level *sigma* yang merupakan indikator kebaikan proses yang selama ini berlangsung dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut [12].

$$DPO = \frac{\text{Jumlah cacat yang diinspeksi}}{\text{Jumlah produk yang diperiksa} \times DO} \quad (12)$$

$$DPMO = DPO \times 1.000.000$$

$$\text{Level sigma} = Z \left(\frac{1.000.000 - DPMO}{1.000.000} \right) + 1,5$$

Keterangan :

DPMO : *defect per million opportunities*

DPO : *defect per opportunities*

DO : *defect opportunities*, yaitu kriteria *reject*

III. METODOLOGI PENELITIAN

Berikut ini adalah penjelasan masing-masing tahap DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve, Control*) dalam *Six Sigma*.

A. Tahap Define

Tahap pertama dalam *six sigma* adalah *define*, yaitu tahap untuk mengidentifikasi permasalahan yang terjadi dan menentukan tujuan. Permasalahan yang terjadi di PT. Asahimas Flat Glass Tbk. Sidoarjo adalah semakin meningkatnya jenis cacat sekunder *cullet* yang mencapai 1400% dan jenis cacat *scratch* yang mencapai 100% pada bulan Juli 2015, serta jenis cacat *chipping* yang mencapai 1800% pada bulan Oktober 2015. Selain itu terjadi penurunan level *sigma* variabel pada kaca jenis DN, yaitu dari sebesar $3,63\sigma$ pada bulan Januari hingga April 2015 menjadi $2,93\sigma$ pada bulan Mei hingga Oktober 2015. Karena level *sigma* menurun maka perlu adanya perbaikan proses. Oleh karena itu, dilakukan analisis dengan pendekatan *six sigma* untuk mengetahui ada tidaknya perubahan indeks kapabilitas dan level *sigma* setelah dilakukan perbaikan.

B. Tahap Measure

Pada tahap ini yang perlu dilakukan pertama kali adalah mengumpulkan data dan mengukur karakteristik kualitas, yaitu *Critical to Quality* (CTQ) yang disajikan pada Tabel 1.

TABEL 1. VARIABEL PENELITIAN

| Karakteristik | CTQ | Simbol | BSB | BSA |
|---------------|------------------------|----------------|---------|---------|
| Atribut | <i>Cullet</i> | C ₁ | | |
| | <i>Pushmark</i> | C ₂ | | |
| | <i>Chipping</i> | C ₃ | - | 0 |
| | <i>Scratch</i> | C ₄ | | |
| | <i>Other Secondary</i> | C ₅ | | |
| Variabel | Ketebalan kaca | X ₁ | 1,93 mm | 2,15 mm |
| | Kerataan kaca | X ₂ | 0 mm | 0,06 mm |
| | Zebra | X ₃ | 45° | 55° |

Zebra adalah gangguan pandangan jarak dan sudut tertentu yang diukur dengan *strip pattern*. Jenis cacat *other secondary* terdiri dari kotoran dan *powder interleave*, dan lain-lain. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder dari departemen QC pada interval waktu 15 Mei hingga 31 Desember 2015. Berdasarkan waktu dilakukannya perbaikan, periode waktu dibagi menjadi dua, yaitu: periode pertama antara tanggal 15 Mei – 4 November 2015 dan periode kedua antara tanggal 5 November - 31 Desember 2015. Subgrup adalah hari, dimana jumlah subgrup untuk kaca jenis DN pada periode pertama dan kedua masing-masing sebanyak 14 dan 8 subgrup dengan 4 sampel pada setiap subgrup. Sedangkan jumlah subgrup untuk kaca jenis E masing-masing sebanyak 27 dan 17, dengan 6 sampel pada setiap subgrup. Teknik sampling yang digunakan adalah *random sampling*. Produk LNFL jenis DN diambil secara *random* di salah satu dari 5 *branch* tiap 6 jam sekali. Sedangkan kaca tipe E diambil tiap 4 jam sekali.

C. Tahap Analyze

Tahap ketiga dalam *six sigma* adalah *analyze* atau menganalisis data hasil pengukuran pada periode pertama dengan langkah-langkah seperti berikut.

1. Mendeskripsikan data atribut dan variabel.
2. Membuat peta kendali *c* untuk data atribut.
3. Mengidentifikasi jenis cacat dominan dengan diagram Pareto dan penyebabnya dengan diagram sebab-akibat.
4. Melakukan analisis kapabilitas proses dan level *sigma* untuk data atribut .
5. Mengidentifikasi dependensi antar variabel dengan statistik uji *Bartlett Sphericity*.
6. Mengidentifikasi distribusi data dengan statistik uji *Shapiro-Wilk*
7. Membuat peta kendali *Generalized Variance* (GV) dan *T² Hotelling* untuk data variabel
8. Melakukan analisis kapabilitas proses dan level *sigma* untuk data variabel.

D. Tahap Improve

Tahap *improve* telah dilakukan oleh departemen QC dengan menerapkan perbaikan secara *periodic* dan secara *insidental* pada tanggal 5 November 2015.

E. Tahap Control

Pada tahap ini dilakukan analisis pada hasil pengukuran periode kedua dengan langkah sebagai berikut.

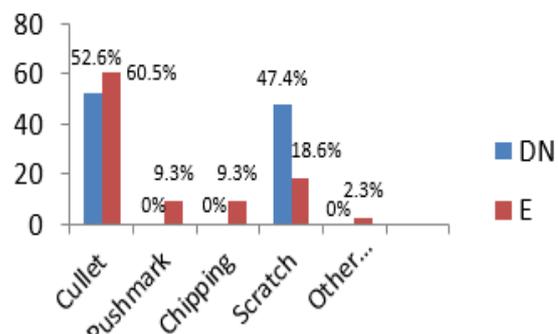
1. Mengidentifikasi pergeseran proses pada periode pertama ke periode kedua dengan uji proporsi dua populasi untuk karakteristik atribut dan uji perbedaan rata-rata dua populasi dengan menggunakan statistik uji *T²* pada Persamaan 3 untuk karakteristik variabel.
2. Melakukan analisis pada hasil pengukuran periode kedua dengan urutan yang sama seperti analisis pada hasil pengukuran periode pertama.
3. Membuat kesimpulan dan saran.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dilakukan tahapan dalam DMAIC, yaitu *analyze* pada hasil pengukuran periode pertama, *improve* yang telah diterapkan tim QC, dan *control* pada hasil pengukuran periode kedua.

A. Tahap Analyze

Tahap *analyze* merupakan tahapan untuk menganalisis hasil pengukuran pada periode pertama sehingga hasilnya dapat dibandingkan dengan hasil pengukuran periode kedua. Sebelumnya akan dilakukan deskripsi data pada Gambar 1 dan Tabel 2.



Gambar 1. Karakteristik Kualitas Atribut Periode I

TABEL 2. KARAKTERISTIK KUALITAS VARIABEL PERIODE I

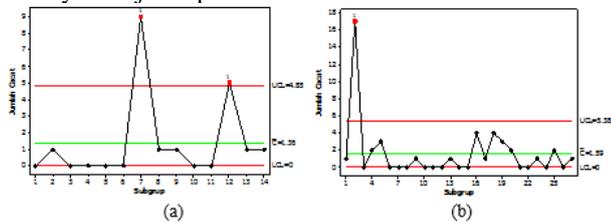
| Jenis Kaca | Variabel | Mean | Variance | Min | Maks | BSB | BSA |
|------------|----------|--------|----------|-------|--------|------|------|
| DN | X1 | 2,0167 | 0,00074 | 1,935 | 2,0725 | 1,93 | 2,15 |
| | X2 | 0,0502 | 0,00054 | 0,02 | 0,11* | 0 | 0,06 |
| | X3 | 52,451 | 1,862 | 50 | 56,25* | 45 | 55 |
| E | X1 | 2,0211 | 0,00028 | 1,975 | 2,0575 | 1,93 | 2,15 |
| | X2 | 0,0394 | 0,00032 | 0,01 | 0,09* | 0 | 0,06 |
| | X3 | 52,279 | 1,357 | 49,5 | 55,25* | 45 | 55 |

Ket: *) Nilai lebih dari BSA

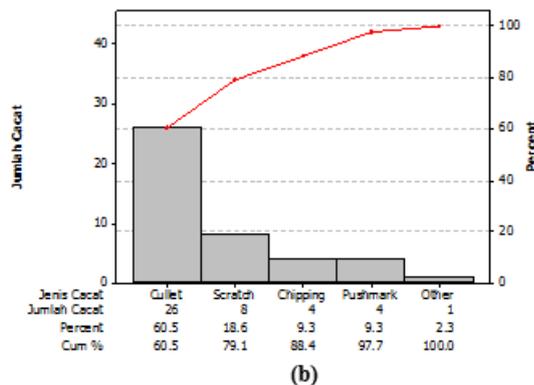
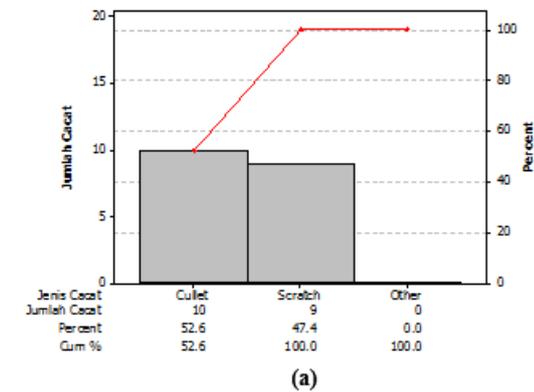
Gambar 1. menunjukkan bahwa pada periode pertama, LNFL jenis E memiliki jumlah jenis cacat yang lebih banyak dibandingkan LNFL jenis DN. Jenis cacat terbanyak untuk kedua tipe LNFL adalah *cullet*, yaitu sebanyak 60,5% untuk jenis kaca E dan 52,6% untuk jenis kaca DN. Selanjutnya Tabel 2 menunjukkan bahwa variabel yang memiliki hasil pengukuran melebihi batas spesifikasi atas (BSA) pada LNFL jenis DN maupun E adalah kerataan permukaan dan zebra.

1) Analisis Kapabilitas Atribut LNFL Jenis DN dan E

Suatu proses dikatakan kapabel jika memenuhi dua kondisi, yaitu proses terkendali secara statistik dan proses berada dalam batas spesifikasi. Selanjutnya akan dibuat peta kendali *c* pada kedua jenis LNFL untuk mengidentifikasi terkendali tidaknya proses dimana hasilnya disajikan pada Gambar 2.



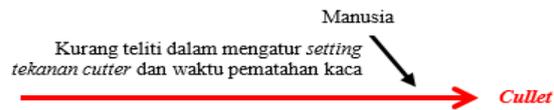
Gambar 2. Peta Kendali *c* LNFL Jenis DN (a) dan Jenis E (b)



Gambar 3. Diagram Pareto Jenis DN (a) dan Jenis E (b)

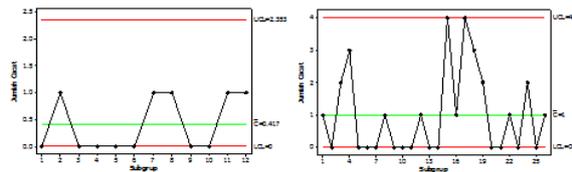
Gambar 2 (a) dan (b) menunjukkan bahwa proses produksi kedua jenis LNFL pada periode pertama belum terkendali secara statistik. Gambar 3 (a) dan (b) menunjukkan bahwa kedua jenis kaca memiliki jenis

cacat dominan yang sama, yaitu *cullet*. Selanjutnya, faktor penyebab terjadinya jenis cacat *cullet* dapat dilihat pada diagram sebab-akibat yang ditampilkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram Sebab-Akibat Jenis Cacat Cullet

Gambar 4 menunjukkan bahwa permasalahan yang terjadi adalah operator yang kurang teliti dalam mengatur *setting* tekanan *cutter* dan waktu pematahan kaca. Karena penyebab *out of control* diketahui maka data yang *out of control* dapat dihapus dan dilakukan analisis peta kendali *c* kembali dan didapatkan bahwa proses produksi kedua jenis LNFL pada periode pertama telah terkendali secara statistik yang ditampilkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Peta Kendali *c* LNFL Jenis DN (a) dan Jenis E (b) Perbaikan I

TABEL 3. INDEKS KAPABILITAS DAN LEVEL SIGMA ATRIBUT LNFL PERIODE I

| Jenis Kaca | Equivalent $\hat{p}_{PK}^{\%}$ | DPMO | Level Sigma |
|------------|--------------------------------|-------|-------------|
| DN | 0,42909 | 20833 | 3,54 |
| E | 0,34049 | 25641 | 3,45 |

Tabel 3 menunjukkan bahwa proses produksi kedua jenis LNFL pada periode pertama belum kapabel jika ditinjau dari karakteristik atribut karena memiliki indeks kapabilitas < 1 . Hal tersebut mengindikasikan bahwa masih banyak produk yang berada di luar batas spesifikasi atribut kaca. Nilai DPMO sebesar 20833 berarti bahwa terdapat 20833 produk cacat dari satu juta produk LNFL jenis DN yang dihasilkan. Level *sigma* kedua jenis kaca masih cukup rendah, sehingga diperlukan perbaikan untuk mencapai level 6σ .

2) Analisis Kapabilitas Variabel LNFL Jenis DN dan E

Asumsi normal multivariat yang harus dipenuhi adalah dependensi antar variabel dan data berdistribusi normal multivariat. Hasil pengujian dependensi dan distribusi dapat dilihat pada Tabel 4 dan Tabel 5. Uji distribusi dilakukan pada data yang telah ditransformasi *box cox*, yaitu data asli yang dipangkatkan dengan nilai *lambda* optimum. Hal ini dilakukan karena pada pengujian awal didapatkan hasil tidak berdistribusi normal multivariat. Informasi yang didapatkan dari Tabel 4 adalah asumsi dependensi telah terpenuhi karena $P\text{-value} < \alpha$ (0,05). Asumsi distribusi normal multivariat juga telah terpenuhi karena $P\text{-value} > \alpha$ (0,05).

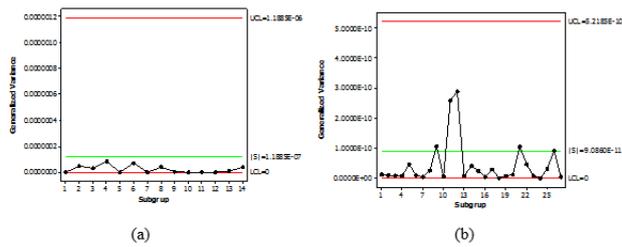
TABEL 4. UJI DEPENDENSI DAN DISTRIBUSI NORMAL MULTIVARIAT JENIS DN PERIODE I

| Dependensi | | | Normal Multivariat | | |
|-----------------|-------------------|------------------------|--------------------|------|------------------------------|
| <i>P</i> -value | χ^2_{hitung} | Keputusan | <i>P</i> -value | W* | Kesimpulan |
| 0,000 | 35,6 | H ₀ ditolak | 0,5383 | 0,97 | H ₀ gagal ditolak |

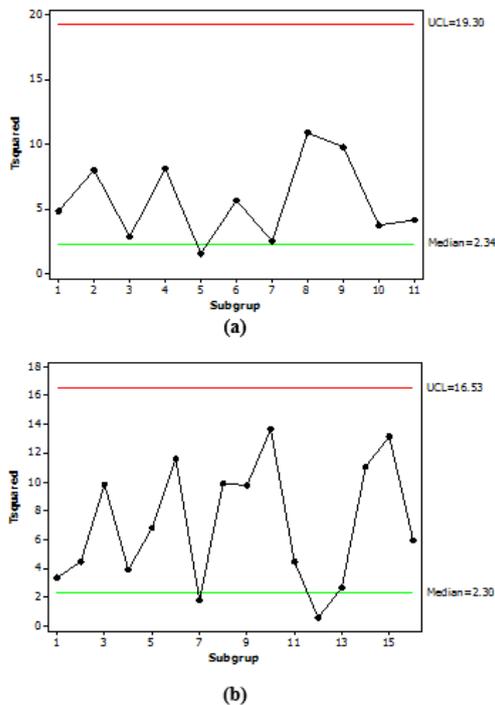
TABEL 5. UJI DEPENDENSI DAN DISTRIBUSI NORMAL MULTIVARIAT JENIS E PERIODE I

| Dependensi | | | Normal Multivariat | | |
|-----------------|-------------------|------------------------|--------------------|------|------------------------------|
| <i>P</i> -value | χ^2_{hitung} | Keputusan | <i>P</i> -value | W* | Kesimpulan |
| 0,000 | 35,8 | H ₀ ditolak | 0,224 | 0,98 | H ₀ gagal ditolak |

Langkah selanjutnya melakukan monitoring pada variabilitas dan rataan proses menggunakan peta kendali *Generalized Variance* dan T^2 *Hotelling* dimana hasilnya dapat dilihat pada Gambar 6 dan 7.



Gambar 6. Peta Kendali *Generalized Variance* LNFL Jenis DN (a) dan Jenis E (b)



Gambar 7. Peta Kendali T^2 *Hotelling* LNFL Jenis DN (a) dan Jenis E (b)

Gambar 6 dan 7 menunjukkan bahwa variabilitas dan *mean* proses produksi kedua jenis LNFL telah terkendali secara statistik, sehingga selanjutnya dapat dilakukan perhitungan indeks kapabilitas dan level *sigma* proses seperti pada Tabel 6.

TABEL 6. INDEKS KAPABILITAS DAN LEVEL *SIGMA* VARIABEL LNFL PERIODE I

| Jenis Kaca | Indeks Kapabilitas | DPMO | Level <i>Sigma</i> |
|------------|--------------------|-------|--------------------|
| DN | 0,78255 | 75758 | 2,93 |
| E | 1,28205 | 17361 | 3,61 |

Tabel 6 memberikan informasi bahwa proses produksi jenis DN pada periode pertama belum kapabel jika ditinjau dari karakteristik kualitas variabel karena indeks kapabilitas bernilai < 1, sebaliknya proses produksi jenis E pada periode pertama telah kapabel jika ditinjau dari karakteristik kualitas variabel karena indeks kapabilitas bernilai > 1. Hal tersebut mengindikasikan bahwa jumlah produk yang berada di luar batas spesifikasi variabel kaca relatif sedikit untuk kaca jenis E. Nilai DPMO sebesar 75758 menunjukkan bahwa terdapat 75758 produk cacat dari satu juta produk LNFL jenis DN yang dihasilkan. Level *sigma* kaca jenis E pada periode pertama lebih baik dibandingkan kaca jenis DN jika ditinjau dari karakteristik variabel, walaupun keduanya masih cukup jauh dari level 6 σ .

B. Tahap Improve

Pada tahap ini dilakukan penerapan perbaikan pada proses produksi. Perbaikan yang telah dilakukan antara lain :

1. Melakukan *maintenance* pada *rubber*, *roll*, *mainline* dan *branch*.
2. Melakukan *checking* regular penggantian part mesin *floating table* sesuai *life time management*.
3. Melakukan *maintenance tools* di *branch*.
4. Melakukan *repairing plat brush* bawah *roll* secara *periodic*.
5. Melakukan *cleaning mainline* dan *branch* tiap jam.
6. Melakukan *maintenance hoist*.
7. Mengubah *setting exit temperature* menjadi 550°C dan beda temperatur permukaan kaca di bawah 6°C.
8. Melakukan *repairing metal bath*.

Poin perbaikan 1, 2, 3, 4, 5 dan 8 telah diterapkan secara *periodic*. Sedangkan poin perbaikan 6 dan 7 telah diterapkan pada tanggal 5 November 2015 pada proses pembentukan. perbaikan poin 6 dan 7 merupakan perbaikan insidental karena ada indikasi kenaikan jenis cacat sekunder.

C. Tahap Control

Tahap *control* merupakan tahap terakhir dalam *six sigma*. Pada tahap ini akan dilakukan analisis pada hasil pengukuran periode kedua, yaitu hasil pengukuran setelah perbaikan diterapkan. Sebelum dilakukan analisis periode kedua, terlebih dahulu dilakukan deskripsi data dan didapatkan hasil bahwa pada periode kedua, LNFL jenis DN memiliki jumlah jenis cacat yang lebih banyak dibandingkan jenis E dan hasil perbandingan karakteristik kualitas variabel kedua jenis kaca pada periode pertama dan kedua disajikan pada Tabel 7 yang diperoleh informasi bahwa variabilitas proses periode kedua telah membaik setelah dilakukan perbaikan yang ditunjukkan dari nilai *variance* periode kedua yang lebih kecil dari nilai *variance* periode pertama. Langkah analisis periode kedua sama seperti pada tahap *analyze*, namun sebelumnya akan dilakukan analisis pergeseran proses untuk mengetahui ada tidaknya pergeseran proses setelah perbaikan diterapkan. Berdasarkan uji proporsi dua populasi diperoleh kesimpulan bahwa tidak terjadi pergeseran proses atribut, sehingga batas kendali peta kendali *c* yang telah *in control* pada periode pertama dapat digunakan untuk membentuk peta kendali *c* pada periode kedua yang hasilnya ditampilkan pada Tabel 8. Sebaliknya untuk uji pergeseran proses variabel menggunakan uji perbedaan rata-rata dua populasi dengan menggunakan statistik uji T^2 diperoleh kesimpulan terjadi pergeseran proses sehingga peta kendali T^2 *Hotelling* yang telah *in control* pada periode pertama tidak dapat digunakan untuk membentuk peta kendali T^2 *Hotelling* pada periode kedua yang hasilnya ditampilkan pada Tabel 9.

TABEL 7. KARAKTERISTIK KUALITAS VARIABEL PERIODE I DAN II

| Periode | Variabel | Jenis DN | | Jenis E | |
|---------|----------|----------|----------|---------|----------|
| | | Mean | Variance | Mean | Variance |
| Pertama | X1 | 2,0167 | 0,00074 | 2,0211 | 0,00028 |
| | X2 | 0,0502 | 0,00054 | 0,0394 | 0,00032 |
| | X3 | 52,451 | 1,862 | 52,279 | 1,357 |
| Kedua | X1 | 2,0166 | 0,00037 | 2,0061 | 0,00018 |
| | X2 | 0,04 | 0,00027 | 0,0312 | 0,00019 |
| | X3 | 51,914 | 0,986 | 52,292 | 1,241 |

TABEL 8. HASIL UJI PROPORSI DUA POPULASI

| Jenis Kaca | Z | $Z_{\frac{\alpha}{2}}$ | Keputusan | Kesimpulan |
|------------|-------|------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| DN | -0,46 | 1,96 | H ₀ gagal ditolak | Tidak ada pergeseran proses |
| E | 0,43 | 1,96 | H ₀ gagal ditolak | Tidak ada pergeseran proses |

TABEL 9. HASIL UJI PERBANDINGAN RATA-RATA DUA POPULASI

| Jenis Kaca | T ² | $\chi^2_{0,05;3}$ | Keputusan | Kesimpulan |
|------------|----------------|-------------------|------------------------|-----------------------|
| DN | 379953,7 | 7,81 | H ₀ ditolak | Ada pergeseran proses |
| E | 6578,01 | 7,81 | H ₀ ditolak | Ada pergeseran proses |

D. Analisis Kapabilitas Proses LNFL Jenis DN dan E

Analisis pada tahap *control* memiliki langkah yang sama seperti pada tahap *analyze*, dimana didapatkan kondisi proses yang telah terkendali secara statistik. Oleh karena itu, hanya akan disajikan indeks kapabilitas serta level *sigma* periode pertama dan kedua sehingga dapat diketahui ada tidaknya dampak perbaikan yang telah dilakukan.

TABEL 10. INDEKS KAPABILITAS DAN LEVEL SIGMA ATRIBUT LNFL PERIODE I DAN II

| Periode | Jenis DN | | Jenis E | |
|---------|--------------------|-------------|--------------------|-------------|
| | Indeks Kapabilitas | Level Sigma | Indeks Kapabilitas | Level Sigma |
| Pertama | 0,42909 | 3,54 | 0,34049 | 3,45 |
| Kedua | 0,42909 | 3,55 | 0,34049 | 3,48 |

TABEL 11. INDEKS KAPABILITAS DAN LEVEL SIGMA VARIABEL LNFL PERIODE I DAN II

| Periode | Jenis DN | | Jenis E | |
|---------|--------------------|-------------|--------------------|-------------|
| | Indeks Kapabilitas | Level Sigma | Indeks Kapabilitas | Level Sigma |
| Pertama | 0,78255 | 2,93 | 1,28205 | 3,61 |
| Kedua | 1,00899 | 3,36 | 1,52514 | 4,00 |

Tabel 10 dan 11 memberikan informasi bahwa setelah dilakukan perbaikan, indeks kapabilitas konstan dan level *sigma* kedua jenis kaca mengalami peningkatan jika ditinjau dari karakteristik kualitas atribut, sedangkan jika ditinjau dari karakteristik kualitas variabel indeks kapabilitas dan level *sigma* pada kedua jenis kaca LNFL mengalami peningkatan. Hal tersebut mengindikasikan bahwa perbaikan telah mampu mengurangi jumlah jenis cacat atribut dan variabel pada kedua jenis kaca LNFL. Tetapi, tetap perlu dilakukan *continuous improvement* agar proses produksi LNFL semakin baik dan mencapai 6 σ .

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil analisis pengendalian kualitas statistik dengan metode *Six Sigma* yang telah dilakukan pada Bab IV memberikan kesimpulan bahwa perbaikan yang telah diterapkan telah mampu :

1. Meningkatkan indeks kapabilitas variabel LNFL jenis DN dari 0,78 menjadi 1,01 dan level *sigma* dari 2,93 σ menjadi 3,36 σ . Jika ditinjau dari karakteristik kualitas atribut, indeks kapabilitas jenis DN konstan dari 0,43 menjadi 0,43 dan diikuti naiknya level *sigma* dari 3,54 σ menjadi 3,55 σ . Selain itu, perbaikan juga telah mampu meningkatkan indeks kapabilitas variabel LNFL jenis E dari 1,28 menjadi 1,52 dan level *sigma* dari 3,61 σ menjadi 4,00 σ . Jika ditinjau dari karakteristik kualitas atribut, indeks kapabilitas jenis E konstan dari 0,34 menjadi 0,34 dan diikuti naiknya level *sigma* dari 3,45 σ menjadi 3,48 σ .
2. Mengurangi jumlah cacat atribut kedua jenis kaca LNFL baik jenis DN maupun E dimana jumlah cacat

atribut DN dari 5 menjadi 2 dan jumlah cacat atribut E dari 20 menjadi 12 sehingga perbaikan telah memberikan dampak signifikan terhadap kecacatan dan indeks kapabilitas produk kaca di PT;. Asahimas Flat Glass Tbk. Sidoarjo.

Saran yang direkomendasikan untuk PT. Asahimas Flat Glass Tbk. Sidoarjo berdasarkan hasil analisis menggunakan metode *six sigma* adalah perlu dilakukan pengawasan yang rutin pada *setting* mesin, khususnya pada tahap pembentukan dan pemotongan kaca serta perlunya pengawasan terhadap kinerja pegawai. Hal tersebut dikarenakan menurut diagram sebab-akibat, kecacatan dan ketidaksesuaian spesifikasi banyak terjadi pada kesalahan *setting metal bath* dan *automatic roller* pada tahap pembentukan serta *setting* tekanan *cutter* pada tahap pemotongan kaca, penyebab lain adalah kurang telitinya operator dalam menggunakan mesin atau alat. Inspeksi jenis cacat *other secondary* sebaiknya dipisah karena jumlahnya cukup banyak pada LNFL jenis DN periode kedua. Jika jenis cacat *other secondary* dipisah maka akan dapat diketahui jenis cacat yang dominan sehingga dapat dilakukan perbaikan. Hal tersebut perlu dilakukan untuk menghindari hasil evaluasi atau analisis yang salah. PT. Asahimas Flat Glass Tbk. Sidoarjo sebaiknya menerapkan analisis kapabilitas proses multivariat untuk mengevaluasi proses produksi LNFL karena kualitas kaca diukur dari beberapa variabel yang saling berkorelasi. Penelitian selanjutnya dianjurkan untuk menambah jumlah subgroup pengamatan sehingga analisis *Six Sigma* dapat dilakukan dengan lebih baik lagi dengan jumlah data yang sesuai.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kementerian Perindustrian, (2014). *Data Produksi Kaca Lembaran*. Diakses 2 Februari 2016 dari http://www.kemenerin.go.id/statistik/ibs_tahun.php?tahun=2006.
- [2] Badan Pusat Statistik. (2016). *Transportasi*. Diakses pada 30 Januari 2016, dari: <http://bps.go.id/linkTabelStatis/view/id/1413>.
- [3] Larasati, N. D. (2016). *Pengendalian Kualitas Proses Produksi Kaca Lembaran Jenis laminated di PT. X. Tugas Akhir*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [4] Pramudita, N. P. (2015). *Analisis Six Sigma Pada Produk Casing Pompa Tipe X di PT. Zenith Allmart Precising Sebagai Metode Perbaikan Kualitas Produk. Tugas Akhir*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [5] Morrison, D. F. (2005). *Multivariate Statistical Methods (4th Ed.)*. The Warton School University of Pennsylvania.
- [6] Alva, J. A., & Estrada, E. G. (2009). A Generalization of Shapiro-Wilk's Test for Multivariate Normality. *Communications in Statistics - Theory and Method*, 38(11), 1870-1883.
- [7] Johnson, R. A., & Winchurn, D. W. (2007). *Applied Multivariate Statistical Analysis*. United States of America: Pearson Education, Inc.
- [8] Montgomery, D. C. (2009). *Introduction to Statistical Quality Control*, (6 Th ed.). United States of America: John Wiley & Sons, Inc.
- [9] Djauhari, M. A. (2005). *Improved Monitoring of Multivariate Process Variability*. *Journal of Quality Technology*, 37(1), 32-39.
- [10] Raissi, S. (2009). Multivariate Process Capability Indices on The Presence of Priority for Quality Characteristics. *Journal of Industrial Engineering International*, 5(9), 27-36.
- [11] Bothe, D.R. (1997). *Measuring Process Capability*. United States of America: The McGraw-Hill Companies, Inc.
- [12] Gaspersz, V. (2002). *Pedoman Implementasi Program Six Sigma Terintegrasi Dengan ISO 9001:2000, MBNQA, dan HACCP*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.