

Pengendalian Kualitas Proses Produksi Kaca Lembaran Jenis *Laminated* di PT. X dengan Metode *Six Sigma*

Niken Dwi Larasati dan Lucia Aridinanti

Jurusan Statistika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail: luciaaridinanti@gmail.com

Abstrak— PT. X merupakan salah satu produsen kaca lembaran di Indonesia, dimana produk yang paling banyak diproduksi adalah LNFL 2 mm. Masalah kualitas produksi yang terjadi pada bulan Januari hingga Maret 2015 adalah peningkatan jumlah cacat primer, khususnya *bubble* yang meningkat hingga 321 persen pada bulan Maret. Hal tersebut menyebabkan indeks kapabilitas karakteristik atribut kaca untuk tipe DN dan E sangat rendah, dimana masing-masing bernilai 0,29 dan 0,33. Untuk meningkatkan indeks kapabilitas, dilakukan perbaikan dengan metode *six sigma* dengan hasil perbaikan telah mampu menurunkan jumlah cacat atribut. Sehingga, level sigma atribut kaca tipe DN mengalami kenaikan dari 3,24 σ menjadi 3,46 σ dan untuk tipe E naik dari 3,31 σ menjadi 3,59 σ . Kenaikan mengindikasikan bahwa jumlah produk yang berada di luar batas spesifikasi atribut semakin berkurang. Level sigma variabel kaca tipe E juga mengalami kenaikan dari 2,91 σ menjadi 3,52 σ . Sebaliknya, level sigma variabel kaca tipe DN mengalami penurunan dari 3,63 σ menjadi 2,98 σ . Oleh karena itu, perlu dilakukan perbaikan berkelanjutan untuk mengidentifikasi penyebab turunnya level sigma variabel kaca tipe DN.

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

I. PENDAHULUAN

PT. X merupakan salah satu produsen kaca lembaran di Indonesia. Kaca yang dihasilkan PT. X tidak hanya dikonsumsi oleh masyarakat dalam negeri, namun juga diekspor ke kawasan Asia. Produk kaca *laminated* yang paling banyak diproduksi oleh PT. X adalah LNFL 2 mm dimana terdapat dua tipe, yaitu tipe Dalam Negeri (DN) dan Ekspor (E). Kode L memiliki arti *Light*, N adalah kode warna *Green*, FL berarti *clear float glass*, dan 2 mm merupakan ketebalan kacanya.

Kualitas adalah hal krusial yang menjadi tolak ukur dari proses produksi suatu barang atau jasa. Analisis statistik yang diterapkan oleh departemen Quality Control (QC) masih sebatas perhitungan rasio cacat dan indeks kapabilitas univariat. Padahal dalam satu produk terdapat banyak karakteristik yang diukur. Menurut departemen *Quality Assurance* (QA) terdapat masalah pada proses produksi LNFL 2 mm, yaitu jumlah cacat primer yang cenderung meningkat dari bulan Januari hingga Maret 2015, khususnya jumlah *bubble* yang mengalami peningkatan sebesar 321 persen pada bulan Maret. Peningkatan jumlah cacat menyebabkan indeks kapabilitas proses menjadi rendah. Kapabilitas LNFL tipe DN sebesar 0,29 dengan level sigma 3,24 σ . Sedangkan indeks kapabilitas LNFL tipe E sebesar 0,33 dengan level sigma

3,31 σ . Indeks kapabilitas adalah suatu indikator yang menunjukkan seberapa baik proses dalam memenuhi batas spesifikasi. Indeks kapabilitas yang bernilai kurang dari satu mengindikasikan bahwa banyak produk yang berada di luar batas spesifikasi. Karena kapabilitas dan level sigma proses produksi masih sangat rendah, maka perlu dilakukan perbaikan proses. Perbaikan telah dilakukan oleh departemen QC pada *preventive maintenance* tiap bulan. Namun, belum dilakukan evaluasi pada perbaikan yang diterapkan, sehingga dilakukan analisis dengan pendekatan *six sigma* untuk mengetahui ada tidaknya perubahan indeks kapabilitas dan level sigma proses setelah perbaikan diterapkan.

Penelitian dengan menerapkan metode *six sigma* telah dilakukan oleh Cahyani [1] pada pengendalian kualitas pengantungan semen dan didapatkan hasil adanya kenaikan level sigma dari 4,10 σ menjadi 4,12 σ . Qomariyah [2] juga menerapkan *six sigma* dalam pengendalian kualitas tepung terigu dimana didapatkan hasil adanya penurunan level sigma dari 3,97 σ menjadi 3,02 σ . Selanjutnya, Zahrati [3] menerapkan *six sigma* pada proses produksi minuman berkarbonasi dengan hasil belum dapat meningkatkan level sigma.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Analisis Multivariat

Analisis multivariat merupakan analisis statistika yang digunakan pada pengamatan yang memiliki lebih dari satu variabel, dimana antar variabel tersebut saling berkorelasi [4]. Terdapat dua asumsi yang harus dipenuhi sebelum melakukan analisis multivariat, yaitu data berdistribusi Normal Multivariat dan adanya dependensi antar variabel.

1. Pengujian Dependensi Antar Variabel

Salah satu asumsi yang harus dipenuhi dalam analisis multivariat adalah adanya hubungan antar variabel [5]. Hipotesis awal pengujian adalah terdapat dependensi antar variabel. Dengan menggunakan tingkat signifikansi α , maka H_0 ditolak jika $\chi_{hitung}^2 > \chi_{\alpha, \frac{1}{2}p(p-1)}^2$ atau $p\text{-value} < \alpha$, dimana statistik uji

χ_{hitung}^2 adalah sebagai berikut.

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

2. Pengujian Distribusi Normal Multivariat

Distribusi Normal Multivariat dapat diidentifikasi secara inferensia menggunakan uji signifikansi koefisien korelasi q - q plot [6]. Hipotesis awal yang digunakan adalah data memenuhi asumsi distribusi Normal Multivariat. Dengan tingkat

signifikansi sebesar α , maka H_0 ditolak jika $r_Q < r_{(n,\alpha)}$ atau $p\text{-value} < \alpha$, dimana statistik uji r_Q adalah seperti berikut.

$$r_Q = \frac{\sum_{i=1}^n (\bar{x}_{.jk} - \bar{x}_{.j.})(\bar{q}_{.jk} - \bar{q}_{.j.})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (\bar{x}_{.jk} - \bar{x}_{.j.})^2} \sqrt{\sum_{j=1}^n (\bar{q}_{.jk} - \bar{q}_{.j.})^2}} \quad (2)$$

3. Pengujian Homogenitas Matriks Kovarian

Homogenitas matriks kovarian dapat diidentifikasi menggunakan statistik uji *Box's M* [6]. Hipotesis awal pengujian adalah matriks kovarian antar populasi homogen. H_0 ditolak pada tingkat signifikansi α jika $C \geq \chi_{\alpha, \frac{1}{2}(k-1)p(p+1)}$ atau $p\text{-value} < \alpha$, dimana statistik uji C adalah sebagai berikut.

$$C = (1 - u)M \quad (3)$$

dengan

$$S_{pooled} = \frac{1}{\sum_{l=1}^g (n_l - 1)} \{(n_1 - 1)S_1 + \dots + (n_g - 1)S_g\}$$

$$u = \left[\sum_{l=1}^g \frac{1}{n_l - 1} - \frac{1}{\sum_{l=1}^g (n_l - 1)} \right] \left[\frac{2p^2 + 3p - 1}{6(p+1)(g-1)} \right] \quad (4)$$

$$M = \left[\sum_{l=1}^g (n_l - 1) \right] \ln |S_{pooled}| - \sum_{l=1}^g [(n_l - 1) \ln |S_l|]$$

B. One Way Multivariate Analysis of Variance

Uji *One Way Multivariate Analysis of Variance* atau sering disebut dengan uji MANOVA Satu Arah adalah suatu uji yang digunakan untuk membandingkan dua populasi yang variabelnya multivariate [6]. Hipotesis awal yang digunakan adalah tidak terdapat perbedaan rata-rata antar populasi. Dengan tingkat signifikansi sebesar α , maka H_0 ditolak jika nilai $\left(\frac{\sum_{l=1}^g n_l - p - 1}{p} \right) \left(\frac{1 - \Lambda^*}{\Lambda^*} \right) > F_{p, \sum_{l=1}^g n_l - p - 1}$ atau $p\text{-value} < \alpha$, dimana nilai Λ^* adalah seperti berikut.

$$\Lambda^* = \frac{|W|}{|B+W|} = \frac{(x_{ij} - \bar{x}_i)(x_{ij} - \bar{x}_i)'}{\sum_{l=1}^g \sum_{j=1}^{n_l} (x_{ij} - \bar{x}_i)(x_{ij} - \bar{x}_i)'} \quad (5)$$

Keterangan:

W = Matriks varian kovarian dalam kelompok

B = Matriks varian kovarian antar kelompok.

C. Pengendalian Kualitas Statistik

Pengendalian kualitas statistik yang selanjutnya disebut dengan PKS adalah suatu metode untuk mengevaluasi kualitas suatu produk hasil proses produksi dengan menggunakan metode-metode statistik [7].

1. Peta Kendali c

Peta kendali c menggunakan distribusi *Poisson* sebagai dasar perhitungan diman rumus untuk menghitung batas kendali adalah sebagai berikut [7].

$$\begin{aligned} BKA &= \bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}} \\ \text{Garis Tengah} &= \bar{c} \\ BKB &= \bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}} \end{aligned} \quad (6)$$

2. Peta Kendali *Improved* $|S|$

Salah satu peta kendali yang digunakan untuk mengevaluasi variabilitas proses pada pengamatan yang bersifat multivariat adalah peta kendali *Improved* $|S|$ [8]. Batas kendali yang

digunakan dalam pembuatan peta kendali $|S|$ untuk pengamatan subgrup adalah seperti berikut.

$$\begin{aligned} BKA &= |\bar{S}| \left(\frac{b_1}{b_3} + \sqrt{\frac{b_2}{b_3^2 + b_4}} \right) \\ \text{Garis Tengah} &= |\bar{S}| \left(\frac{b_1}{b_3} \right) \end{aligned} \quad (7)$$

$$BKB = \max \left(0, |\bar{S}| \left(\frac{b_1}{b_3} - 3 \sqrt{\frac{b_2}{b_3^2 + b_4}} \right) \right)$$

dengan

$$\begin{aligned} b_1 &= \frac{1}{(n-1)^p} \prod_{i=1}^p (n-i) \\ b_2 &= \frac{1}{(n-1)^{2p}} \prod_{i=1}^p (n-i) \left[\prod_{j=1}^p (n-j+2) - \prod_{j=1}^p (n-j) \right] \\ b_3 &= \frac{1}{(m(n-1))^p} \prod_{i=1}^p (m(n-k) - k + 1) \\ b_4 &= \frac{1}{\{m(n-1)\}^{2p}} \prod_{j=1}^p \{m(n-1) - j + 1\} x \\ &\left[\prod_{j=1}^p \{m(n-1) - j + 3\} - \prod_{j=1}^p \{m(n-1) - j + 1\} \right] \end{aligned} \quad (8)$$

3. Peta Kendali T^2 *Hotelling*

Peta kendali T^2 *Hotelling* merupakan peta kendali yang digunakan untuk mengendalikan *mean* suatu proses multivariat. Menurut Montgomery [7], batas kendali untuk data subgrup dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$T^2 = n(\bar{x}_{.jk} - \bar{x}_{.j.})' S^{-1} (\bar{x}_{.jk} - \bar{x}_{.j.}) \quad (9)$$

Batas kendali untuk fase I adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} BKA &= \frac{p(m-1)(n-1)}{mn-m-p+1} F_{\alpha, p, mn-m-p+1} \\ BKB &= 0 \end{aligned} \quad (10)$$

Batas kendali pada fase II adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} BKA &= \frac{p(m+1)(n-1)}{mn-m-p+1} F_{\alpha, p, mn-m-p+1} \\ BKB &= 0 \end{aligned} \quad (11)$$

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 T_j^2 , atau dapat dinyatakan dengan rumus seperti berikut [7].

$$d_j = T^2 - T_j^2; j = 1, 2, \dots, p \quad (12)$$

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

5. Uji Proporsi Dua Populasi

Uji proporsi dilakukan untuk mengetahui ada tidaknya pergeseran proses dilihat dari ada tidaknya perbedaan antara proporsi populasi pertama dan kedua [7]. Hipotesis awal pengujian adalah tidak terdapat perbedaan proporsi antar populasi. H_0 ditolak pada tingkat signifikansi α jika $|Z_0| \geq Z_{\frac{\alpha}{2}}$ atau $p\text{-value} < \alpha$, dimana statistik uji Z_0 adalah sebagai berikut.

$$Z_0 = \frac{\hat{p}_1 - \hat{p}_2}{\sqrt{\hat{p}\hat{q} \left[\left(\frac{1}{n_1} \right) + \left(\frac{1}{n_2} \right) \right]}} \quad (13)$$

6. Analisis Kapabilitas Proses

Kapabilitas proses adalah kemampuan suatu proses untuk menghasilkan suatu produk/ jasa sesuai dengan spesifikasi yang diharapkan. Menurut Raissi [9], Indeks kapabilitas multivariat dapat dihitung menggunakan *weighting average* dimana bobot yang digunakan adalah 0,333 untuk tiap variabel. Rumus perhitungannya adalah sebagai berikut.

$$MC_P = \sum_{j=1}^p W_j C_P(X_j) \tag{14}$$

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

dengan

$$C_P(X_j) = \frac{BSA-BSB}{6\sigma}, C_{PK}(X_j) = \min(CpA, CpB)$$

$$\sum_{j=1}^p W_j = 1 \tag{15}$$

Proses dikatakan kapabel secara multivariat jika nilai $C_p \geq 1$. Pengukuran kapabilitas proses untuk peta kendali *c* menggunakan indikator *Equivalent $\hat{p}_{PK}^{\%}$* dan *ppm_{TOTAL,LT}* dengan rumus sebagai berikut [10].

$$Equivalent \hat{p}_{PK}^{\%} = \frac{Z(\hat{p}')}{3} \tag{16}$$

$$ppm_{TOTAL,LT} = p' \times 10^6$$

Jika nilai *Equivalent $\hat{p}_{PK}^{\%}$* ≥ 1 , maka proses dikatakan kapabel.

7. Diagram Pareto

Diagram Pareto adalah diagram batang yang dipadukan dengan diagram garis untuk merepresentasikan suatu parameter untuk mengidentifikasi parameter dominan [7].

8. Diagram Sebab Akibat

Diagram Sebab Akibat berfungsi untuk mengidentifikasi penyebab dari suatu masalah dengan cara menggambarkan secara grafik hubungan antara masalah atau akibat dengan semua faktor yang mempengaruhinya [7].

D. 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 [11]. Tujuan *six sigma* adalah mengurangi variabilitas proses produksi. DMAIC adalah salah satu metode yang digunakan dalam *six sigma*. Terdapat 5 tahap dalam DMAIC, yaitu *define, measure, analyze, improve, dan control*. Level sigma yang merupakan indikator kebaikan proses yang selama ini berlangsung dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

$$DPO = \frac{Jumlah\ cacat\ yang\ diinspeksi}{Jumlah\ produk\ yang\ diproduksi \times DO}$$

$$DPMO = DPO \times 1.000.000 \tag{17}$$

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

Keterangan:

- DPMO = Defect per million opportunities
- DPO = Defect per opportunities
- DO = Defect opportunities, yaitu jumlah CTQ.

III. METODOLOGI PENELITIAN

Salah satu metode dalam *six sigma* adalah DMAIC Berikut ini adalah penjelasan masing-masing tahap dalam DMAIC yang dimulai dengan tahap *define*.

A. Tahap Define

Tahap pertama dalam *six sigma* adalah *define*, yaitu tahap untuk mengidentifikasi permasalahan yang terjadi dan menentukan tujuan. Permasalahan pada PT. X telah dijelaskan pada Bab I, yaitu adanya kenaikan jumlah cacat primer yang menyebabkan indeks kapabilitas dan level sigma produk LNFL tipe DN maupun E sangat rendah. Kapabilitas LNFL tipe DN dan E masing-masing sebesar 0,29 dan 0,33. Indeks kapabilitas yang bernilai kurang dari satu mengindikasikan bahwa terdapat banyak produk yang berada di luar batas spesifikasi. Karena indeks kapabilitas dan level sigma proses produksi sangat rendah, maka dilakukan 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 dilakukan pengukuran terhadap variabel kritis yang biasa disebut CTQ. CTQ dalam penelitian ini ada dua, yaitu karakteristik atribut dan variabel yang disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1
Variabel Penelitian

Karakteristik	CTQ	Simbol	BSB	BSA
Atribut	Jumlah <i>Bubble</i>	C ₁		
	Jumlah <i>Inclusion</i>	C ₂		
	Jumlah <i>Drip</i>	C ₃	-	0
	Jumlah <i>Tin Pick Up</i>	C ₄		
	<i>Other</i>	C ₅		
Variabel	Ketebalan kaca	X ₁	1,93 mm	2,15 mm
	Kerataan permukaan	X ₂	0 mm	0,06 mm
	Zebra	X ₃	45°	55°

Zebra adalah gangguan pandangan jarak dan sudut tertentu. Sedangkan yang termasuk dalam jenis cacat *Other* yaitu *ream, roll imprint, dross, bloom*, dan lain-lain. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder dari departemen QC. Pengukuran dilakukan pada interval waktu 15 Januari hingga 11 Oktober 2015. Berdasarkan waktu dilakukannya perbaikan, periode waktu dibagi menjadi dua, yaitu: periode pertama antara tanggal 15 Januari-14 Mei 2015 dan periode kedua antara tanggal 15 Mei-11 Oktober 2015. Subgrup adalah hari, dimana jumlah subgrup untuk kaca tipe DN pada periode pertama dan kedua masing-masing sebanyak 11 dan 14 subgrup dengan 4 sampel pada setiap subgrup. Sedangkan jumlah subgrup untuk kaca tipe E masing-masing sebanyak 23 dan 40, dengan 6 sampel pada setiap subgrup. Teknik sampling yang digunakan adalah *random sampling*. Produk LNFL tipe 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 selanjutnya adalah *analyze* atau melakukan analisis pada hasil pengukuran periode pertama. Langkah analisis untuk tahap *analyze* adalah sebagai berikut.

1. Mendeskripsikan data atribut dan variabel.
2. Melakukan analisis kapabilitas atribut dengan membuat peta kendali *c*, mengidentifikasi penyebab cacat dominan

dengan Diagram Pareto, mengidentifikasi akar penyebab dengan Diagram Sebab Akibat, menentukan indeks kapabilitas dan level sigma proses.

- Melakukan analisis kapabilitas karakteristik variabel dengan langkah mengidentifikasi dependensi antar variabel menggunakan statistik uji *Bartlett*, mengidentifikasi distribusi data dengan uji koefisien korelasi *q-q plot*, membuat peta kendali *Improved |S|* dan *T²Hotelling*, mengidentifikasi variabel penyebab *out of control* menggunakan dekomposisi nilai statistik uji *T² Hotelling*, menentukan indeks kapabilitas dan level sigma proses.

D. Tahap *Improve*

Tahap *improve* telah dilakukan oleh departemen QC dengan menerapkan perbaikan tiap bulan dan secara insidental pada tanggal 15 Mei 2015.

E. Tahap *Control*

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

- Mengidentifikasi pergeseran proses pada periode pertama ke periode kedua dengan uji proporsi dua populasi untuk karakteristik atribut dan uji MANOVA Satu Arah untuk karakteristik variabel. Sebelum dilakukan uji MANOVA, dilakukan identifikasi homogenitas matriks kovarian dengan statistik uji *Box's M*,
- Melakukan analisis pada hasil pengukuran periode kedua dengan urutan yang sama seperti analisis pada hasil pengukuran periode pertama.
- Membuat kesimpulan dan saran.

IV. 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.

1. Deskripsi Hasil Pengukuran

Langkah pertama dalam tahap *analyze* adalah mendeskripsikan data atribut dan variabel yang masing-masing disajikan pada Tabel 2 dan 3.

Tabel 2.

Tipe Kaca	Statistika Deskriptif Karakteristik Atribut Periode Pertama					Jumlah
	Jenis Cacat					
	<i>Bubble</i>	<i>Inclusion</i>	<i>Drip</i>	<i>TPU</i>	<i>Other</i>	
DN	9	0	0	0	0	9
E	21	1	2	0	0	24

Tabel 3.

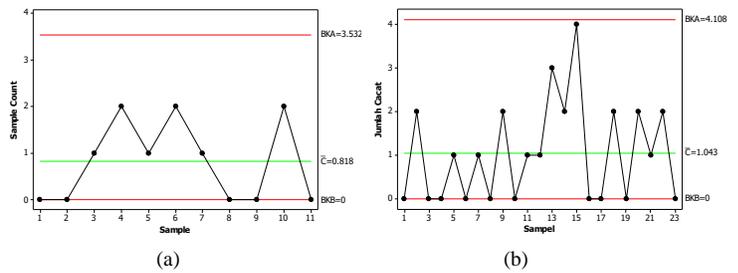
Tipe kaca	Variabel	Statistika Deskriptif Karakteristik Variabel Periode Pertama					
		Rata-rata	Dev. standar	Minimum	Maksimum	BSB	BSA
DN	X ₁	2,03	0,02	1,98	2,09	1,93	2,15
	X ₂	0,04	0,02	0,02	0,09*	0,00	0,06
	X ₃	52,49	0,99	50,25	54,50	45,00	55,00
E	X ₁	2,03	0,02	1,99	2,08	1,93	2,15
	X ₂	0,05	0,02	0,01	0,09*	0,00	0,06
	X ₃	52,15	1,29	49,25	56,00*	45,00	55,00

Ket: *) Nilai melebihi BSA

Pada periode pertama, LNFL tipe E memiliki jumlah jenis cacat yang lebih banyak dibandingkan LNFL tipe DN (lihat Tabel 2). Jenis cacat terbanyak untuk kedua tipe LNFL adalah *bubble*. Sedangkan Tabel 3 menunjukkan bahwa pada periode pertama, variabel yang memiliki hasil pengukuran melebihi batas spesifikasi atas (BSA) pada LNFL tipe DN adalah kerataan permukaan. Sedangkan untuk LNFL tipe E adalah variabel kerataan dan zebra. Selanjutnya akan dilakukan analisis kapabilitas proses produksi LNFL.

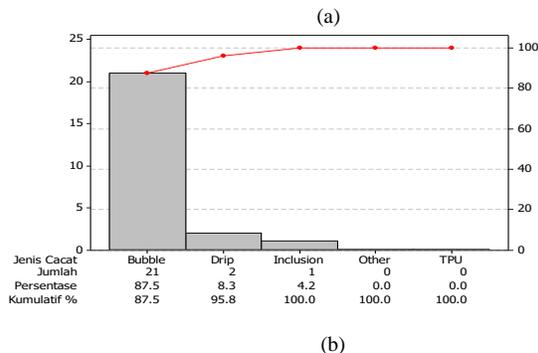
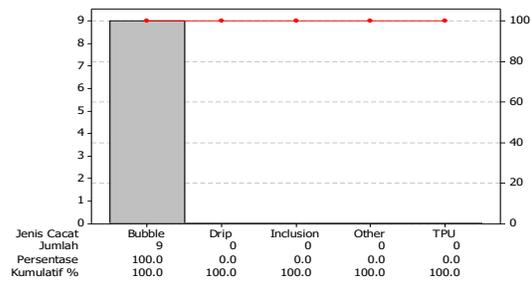
2. Analisis Kapabilitas Atribut LNFL Tipe DN dan E

Suatu proses dikatakan kapabel jika memenuhi dua kondisi, yaitu proses terkendali secara statistik yang diukur dari peta kendali dan proses berada dalam batas spesifikasi yang diukur berdasarkan indeks kapabilitas. Sehingga, sebelum dilakukan perhitungan indeks kapabilitas proses akan dibuat peta kendali *c* pada kedua tipe LNFL untuk mengidentifikasi terkendali tidaknya proses dimana hasilnya disajikan pada Gambar 1.



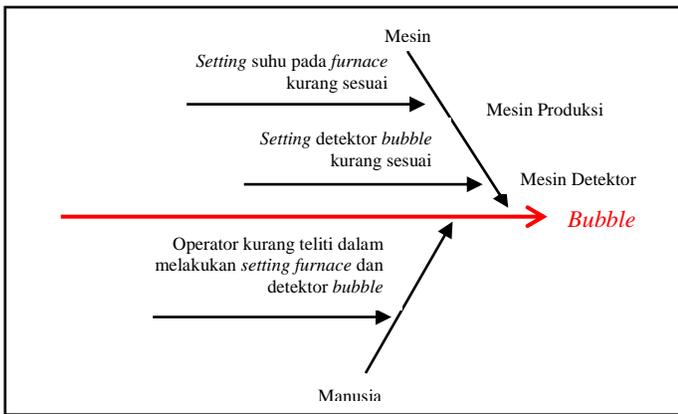
Gambar 1. Peta Kendali *c* LNFL tipe DN (a) dan tipe E (b)

Gambar 1(a) dan (b) menunjukkan bahwa semua titik pengamatan berada dalam batas kendali. Hal tersebut mengindikasikan bahwa proses produksi kedua tipe LNFL pada periode pertama telah terkendali secara statistik.



Gambar 2. Diagram Pareto LNFL tipe DN (a) dan tipe E (b)

Jenis cacat dominan pada kedua tipe LNFL adalah jumlah *bubble* (lihat Gambar 2). Selanjutnya, faktor penyebab terjadinya *bubble* dapat dilihat pada Diagram Sebab Akibat yang ditampilkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram Sebab Akibat Jenis Cacat Jumlah Bubble

Gambar 3 menunjukkan bahwa faktor penyebab terjadinya bubble adalah faktor mesin dan manusia. Permasalahan yang terjadi adalah setting suhu dan alat detektor bubble yang kurang sesuai karena operator yang kurang teliti. Selanjutnya dilakukan perhitungan indeks kapabilitas dan level sigma proses karena proses produksi kedua tipe kaca telah terkendali.

Tabel 4.

Indeks Kapabilitas dan Level Sigma Atribut LNFL Periode Pertama				
Tipe kaca	\hat{p}'	Equivalent \hat{p}'_{PK}	DPMO	Level Sigma
DN	0,1849	0,29	40909	3,24
E	0,1596	0,32	34783	3,31

Tabel 4 merupakan indeks kapabilitas dan level sigma untuk kedua tipe LNFL pada periode pertama. Dapat disimpulkan bahwa proses produksi kedua tipe LNFL pada periode pertama belum kapabel jika ditinjau dari karakteristik atribut karena memiliki indeks kapabilitas kurang dari 1. Hal tersebut mengindikasikan bahwa terdapat banyak produk yang berada di luar batas spesifikasi atribut kaca. Nilai DMPO sebesar 40909 berarti bahwa terdapat 40909 produk cacat dari satu juta produk LNFL tipe DN yang dihasilkan. Level sigma kedua tipe kaca masih cukup rendah, sehingga diperlukan perbaikan untuk mencapai level 6σ .

3. Analisis Kapabilitas Variabel LNFL Tipe DN dan E

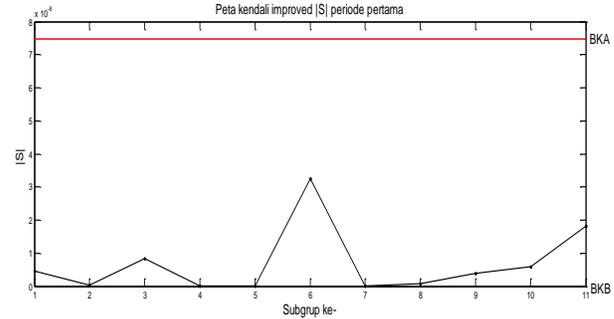
Analisis multivariat dapat dilakukan jika hasil pengukuran memenuhi dua asumsi, yaitu terdapat dependensi antar variabel dan data berdistribusi Normal Multivariat. Hasil pengujian dependensi dan distribusi dapat dilihat pada Tabel 5. Informasi yang didapatkan dari Tabel 5 adalah asumsi distribusi Normal Multivariat telah terpenuhi karena nilai korelasi lebih besar dari nilai kritis. Sedangkan dependensi antar variabel pada periode pertama tidak terpenuhi karena p -value lebih besar dari tingkat signifikansi (α). Namun, hal tersebut berbeda dengan keadaan nyata di lapangan. Menurut pihak QA, terdapat hubungan di antara ketiga variabel tersebut, dimana jika nilai rata-rata permukaan kaca semakin tinggi, kaca akan semakin tebal. Sedangkan jika kaca semakin tebal, maka nilai zebra akan berkurang. Oleh karena itu, diasumsikan bahwa ketiga karakteristik variabel saling berkorelasi sehingga dapat dilakukan analisis multivariat.

Tabel 5.

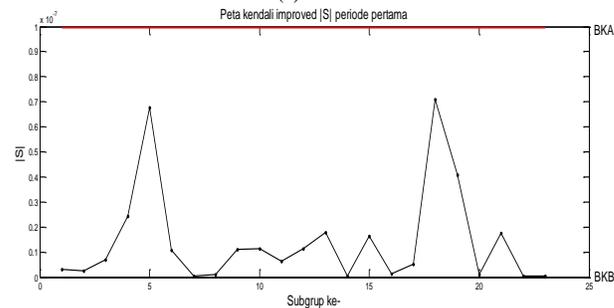
Hasil Uji Dependensi dan Normal Multivariat Periode Pertama

Tipe Kaca	Dependensi		Normal Multivariat			
	p -value	α	Keputusan	r_Q	$r_{(n;0.05)}$	Keputusan
DN	0,595	0,05	H_0 gagal	0,978	0,973	H_0 ditolak
E	0,525	0,05	ditolak	0,991	0,987	

Langkah selanjutnya adalah melakukan analisis kapabilitas proses dimana sebelumnya dilakukan identifikasi terkendali tidaknya proses menggunakan peta kendali. Monitoring pada variabilitas dan rata-rata proses menggunakan peta kendali Improved |S| dan T^2 Hotelling dimana hasilnya dapat dilihat pada Gambar 4 dan 5.

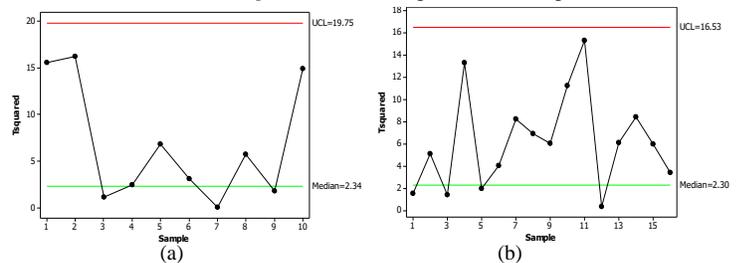


(a)



(b)

Gambar 4. Peta Kendali Improved |S| LNFL tipe DN (a) dan tipe E (b)



Gambar 5. Peta Kendali T^2 Hotelling LNFL tipe DN (a) dan tipe E (b)

Gambar 4 dan 5 menunjukkan bahwa variabilitas dan rata-rata proses produksi kedua tipe 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 Pertama

Tipe kaca	Indeks kapabilitas	DPMO	Level Sigma
DN	1,03	16667	3,63
E	1,07	79861	2,91

Tabel 6 memberikan informasi bahwa proses produksi kedua tipe LNFL pada periode pertama telah kapabel jika ditinjau dari karakteristik variabel karena indeks kapabilitas bernilai lebih dari 1. Hal tersebut mengindikasikan bahwa jumlah produk yang berada di luar batas spesifikasi variabel kaca relatif sedikit. Nilai DPMO sebesar 16667 berarti bahwa terdapat 16667 produk cacat dari satu juta produk LNFL tipe DN yang dihasilkan. Level sigma kaca tipe DN pada periode pertama lebih baik dibandingkan kaca tipe E jika ditinjau dari karakteristik variabel, walaupun keduanya masih cukup jauh dari level 6σ .

B. Tahap Improve

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

1. Melakukan *cleaning* dan *repairing* pada mesin produksi dan *metal bath* yang disebut sebagai *preventive maintenance*.
2. Mengubah pengaturan *pressure* yang awalnya 1,5 atm menjadi 2 atm.
3. Menambah penggunaan senyawa N_2H_2 , yang awalnya 950-1000 mm H_2O menjadi 1300-1400 mm H_2O .

Saran 1 telah diterapkan tiap bulan, dimana tanggal dilakukan *maintenance* tidak selalu sama dan memakan waktu hingga 8 jam. Sedangkan saran 2 dan 3 merupakan perbaikan insidental yang telah diterapkan pada tanggal 15 Mei 2015 terhadap *furnace* dan *metal bath* pada proses peleburan serta pembentukan karena terjadinya peningkatan jumlah cacat primer.

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. Langkah analisis sama seperti pada tahap *analyze*, namun sebelumnya akan dilakukan analisis pergeseran proses untuk mengetahui ada tidaknya pergeseran proses setelah perbaikan diterapkan.

1. Analisis Pergeseran Proses

Identifikasi pergeseran proses dilakukan pada karakteristik atribut maupun variabel. Untuk karakteristik atribut akan digunakan uji proporsi dua populasi dimana dihasilkan kesimpulan bahwa tidak terjadi pergeseran proses. Sehingga batas kendali pada peta kendali *c* yang telah *in control* pada periode pertama dapat digunakan untuk monitoring periode kedua. Sedangkan untuk mengidentifikasi pergeseran proses pada karakteristik variabel digunakan uji MANOVA Satu Arah yang menghasilkan kesimpulan bahwa terdapat pergeseran proses produksi pada kedua tipe kaca. Sehingga, batas kendali peta T^2 Hotelling periode pertama yang telah *in control* tidak dapat digunakan untuk membentuk peta pada periode kedua. Sebelum dilakukan uji MANOVA, dilakukan pengujian homogenitas matriks kovarian antar populasi dengan hasil hanya hasil pengukuran LNFL tipe E yang memenuhi asumsi tersebut. Oleh karena itu, pada kaca tipe DN diasumsikan telah memenuhi asumsi homogenitas.

2. Deskripsi Hasil Pengukuran

Deskripsi hasil pengukuran atribut untuk periode kedua memberikan informasi bahwa LNFL tipe E memiliki jumlah jenis cacat yang lebih banyak dibandingkan tipe DN. Jenis cacat terbanyak untuk tipe DN adalah *other*, sedangkan untuk tipe E adalah *bubble*. Untuk karakteristik variabel diperoleh informasi bahwa pada periode kedua, variabel yang memiliki hasil pengukuran melebihi BSA pada kedua tipe kaca adalah kerataan permukaan dan zebra.

3. Analisis Kapabilitas Proses LNFL Tipe 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 7.

Periode	Indeks Kapabilitas dan Level Sigma Atribut LNFL Periode I dan II			
	Tipe DN		Tipe E	
	Indeks Kapabilitas	Level Sigma	Indeks Kapabilitas	Level Sigma
Pertama	0,29889	3,24	0,33209	3,32
Kedua	0,39585	3,46	0,42723	3,59

Tabel 8.

Periode	Indeks Kapabilitas dan Level Sigma Variabel LNFL Periode I dan II			
	Tipe DN		Tipe E	
	Indeks Kapabilitas	Level Sigma	Indeks Kapabilitas	Level Sigma
Pertama	1,04229	3,63	1,07226	2,91
Kedua	0,80919	2,98	1,23543	3,52

Tabel 7 dan 8 memberikan informasi bahwa setelah dilakukan perbaikan, terjadi penurunan kapabilitas dan level sigma pada LNFL tipe DN jika ditinjau dari karakteristik variabel. Sebaliknya, tipe E mengalami kenaikan pada kedua karakteristik. Hal tersebut mengindikasikan bahwa perbaikan telah mampu mengurangi jumlah jenis cacat atribut dan variabel pada LNFL tipe E, namun belum mampu mengurangi jumlah cacat variabel untuk LNFL tipe DN. Sehingga perlu dilakukan *continuous improvement* agar proses produksi LNFL semakin baik dan mencapai 6σ .

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan yang didapatkan adalah perbaikan yang diterapkan mampu mengurangi jumlah cacat atribut pada kedua tipe LNFL. Selain itu, terjadi peningkatan indeks kapabilitas dan level sigma atribut maupun variabel pada kaca tipe E. Level sigma atribut naik dari $3,32\sigma$ menjadi $3,59\sigma$, sedangkan level sigma variabel naik dari $2,91\sigma$ menjadi $3,52\sigma$. Peningkatan indeks kapabilitas dan level sigma mengindikasikan bahwa jumlah produk yang berada di luar batas spesifikasi berkurang, begitupun sebaliknya. Untuk kaca tipe DN, terjadi kenaikan level sigma atribut dari $3,24\sigma$ menjadi $3,46\sigma$. Sebaliknya, level sigma variabel mengalami penurunan dari $3,63\sigma$ menjadi $2,98\sigma$.

Saran yang direkomendasikan untuk PT. X adalah melakukan pengawasan rutin pada *setting* mesin, khususnya pada tahap peleburan dan pembentukan. Inspeksi dan dokumentasi untuk jenis cacat *other* sebaiknya dipisah karena jumlahnya cukup banyak pada LNFL tipe DN periode kedua. Selain itu, perlu dilakukan identifikasi faktor penyebab turunnya level sigma variabel kaca tipe DN agar dapat dilakukan perbaikan. PT. X sebaiknya menerapkan analisis kapabilitas proses multivariat untuk mengevaluasi proses produksi LNFL karena kualitas kaca diukur dari beberapa variabel yang saling berkorelasi. Sehingga, tidak diperoleh kesimpulan yang salah. Penelitian selanjutnya dianjurkan untuk tidak mengasumsikan homogenitas matriks kovarian antar populasi dan menambah jumlah subgroup pengamatan agar diperoleh data yang cukup untuk analisis *six sigma*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Cahyani, F. I. (2015). *Analisis Pengendalian Kualitas Proses Pengantongan Semen di PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk. dengan*

- Pendekatan Six Sigma*. Laporan Tugas Akhir Jurusan Statistika ITS: Surabaya.
- [2] Qomariyah, I. N. (2015). *Pengendalian Kualitas Tepung Terigu "Palapa" dengan pendekatan Six Sigma di PT. Pioneer Flour Mill Industries*. Laporan Tugas Akhir Jurusan Statistika ITS: Surabaya.
- [3] Zahradi, Z. (2014). *Penerapan Metode DMAIC di PT. Coca Cola Bottling Indonesia Jawa Timur*. Laporan Tugas Akhir Jurusan Statistika ITS: Surabaya.
- [4] Hair, J. F., et al. (2010). *Multivariate Data Analysis* (7th ed.). United States of America: Pearson Education, Inc.
- [5] Morrison, D. F. (1990). *Multivariate Statistical Methods*, (3rd ed.). United States of America: The McGraw-Hill Companies, Inc.
- [6] Johnson, R. A., & Winchurn, D. W. (2007). *Applied Multivariate Statistical Analysis*. United States of America: Pearson Education, Inc.
- [7] Montgomery, D. C. (2009). *Introduction to Statistical Quality Control*, (6th ed.). New York: John Wiley & Sons, Inc.
- [8] Djauhari, M. A. (2005). Improved Monitoring of Multivariate Process Variability. *Journal of Quality Technology*, 37(1), 32-39.
- [9] Raissi, S. (2009). Multivariate Process Capability Indices on the Presence of Priority for Quality Characteristics. *Journal of Industrial Engineering International*, 5(9), 27-36.
- [10] Bothe, D. R. (1997). *Measuring Process Capability*. United States of America: The McGraw-Hill Companies, Inc.
- [11] Creveling, C.M., Hambleton, L., & McCarthy, B. (2006). *Six Sigma for Marketing Processes*. United State of America: Prentice Hall Inc.