

Analisis Pengendalian Kualitas Produk Botol Kode 493 Menggunakan Peta Kendali Kernel di PT. Iglas (Persero)

Widya Azizatin dan Sri Mumpuni Retnaningsih
Jurusan Statistika, Fakultas MIPA, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia
e-mail: mumpuni@statistika.its.ac.id

Abstrak—PT. Iglas (Persero) merupakan Badan Usaha Milik Negara yang bergerak dalam bidang pembuatan botol gelas yang dalam pengendalian kualitasnya menggunakan peta kendali Shewhart $\bar{x}-R$, namun data karakteristik kualitas yang digunakan tidak memenuhi distribusi Normal, sehingga penggunaan peta kendali Shewhart $\bar{x}-R$ pada data karakteristik botol tersebut kurang sesuai. Pada penelitian ini akan dilakukan pengendalian kualitas secara nonparametrik, yaitu dengan peta kendali Kernel. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengendalian kualitas hasil proses produksi, indeks *conformity* proses, dan penyebab hasil proses tidak terkendali pada produksi botol di PT. Iglas (Persero). Karakteristik kualitas yang digunakan pada penelitian ini adalah berat botol kode 493. Dari hasil peta kendali Kernel dan indeks *conformity* Kernel didapatkan bahwa hasil proses tersebut tidak terkendali dan belum sesuai dengan spesifikasi. Penyebab utama yang menyebabkan hasil proses tersebut tidak terkendali adalah diameter orifice ring dan kecepatan mesin pembentuk botol yang tidak sesuai, sehingga menyebabkan ketidaksesuaian berat botol, karena itu sebaiknya dilakukan perbaikan agar hasil proses dapat terkendali secara statistik dan sesuai dengan spesifikasi.

Kata Kunci— Botol, Kernel, Nonparametrik, Pengendalian Kualitas

I. PENDAHULUAN

PENGENDALIAN kualitas merupakan aktivitas keteknikan dan manajemen, yang dengan aktivitas tersebut diukur karakteristik-karakteristik kualitas produk, membandingkannya dengan spesifikasi atau persyaratan dan mengambil tindakan perbaikan yang sesuai jika ada perbedaan antara penampilan yang sebenarnya dengan yang standar. Salah satu alat yang digunakan dalam pengendalian kualitas secara statistik adalah peta kendali (*control chart*). Peta kendali dapat memberikan informasi mengenai stabilitas proses, baik dalam hal rata-rata maupun variabilitas. Peta kendali yang pertama diperkenalkan oleh Dr. Walter Shewhart (1931), yaitu peta kendali Shewhart. Peta kendali Shewhart digunakan untuk mengevaluasi proses berdasarkan karakteristik kualitas variabel tunggal. Asumsi dasar yang digunakan pada peta kendali Shewhart adalah pengukuran dilakukan terhadap variabel random yang berdistribusi Normal. Pada kenyataannya, data karakteristik produk tidak selalu berdistribusi Normal. Dalam kondisi ini, peta kendali Shewhart masih dapat digunakan, tetapi kurang sesuai dengan

pendekatan yang digunakan.

PT. Iglas (Persero) merupakan Badan Usaha Milik Negara yang bergerak dalam bidang pembuatan botol gelas dan pada tahun 2013 telah menguasai 35% pangsa pasar kemasan botol gelas di Indonesia. Botol gelas yang diproduksi harus memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan oleh konsumen. Dalam proses produksinya, produksi botol gelas tidak lepas dari pengendalian kualitas statistika. Pengendalian kualitas statistika di perusahaan tersebut selama ini masih menggunakan peta kendali Shewhart $\bar{x}-R$. Berdasarkan evaluasi didapatkan hasil bahwa pada botol kode 493 hanya terdapat satu titik yang berada di luar batas kendali, namun pada kenyataannya produksi botol tersebut masih banyak terdapat produk yang di luar spesifikasi. Ketidaksesuaian hasil analisis dengan keadaan nyata ini disebabkan data karakteristik botol dianalisis berdasarkan pembagian *shift*, sedangkan proses produksi dilakukan terus menerus tanpa memperhatikan pergantian *shift*. Selain itu, berdasarkan hasil uji *Anderson Darling*, data karakteristik botol tersebut juga tidak memenuhi distribusi Normal. Peta kendali Shewhart $\bar{x}-R$ menggunakan asumsi data berdistribusi Normal, sehingga penggunaan peta kendali tersebut pada data karakteristik botol kode 493 kurang sesuai. Evaluasi proses berdasarkan data karakteristik produk botol kode 493 di PT. Iglas (Persero) yang tidak berdistribusi Normal dapat menggunakan pendekatan nonparametrik.

Salah satu peta kendali yang bersifat nonparametrik adalah peta kendali Kernel. Peta kendali Kernel tidak memerlukan asumsi distribusi tertentu dalam analisisnya. Hasil dari peta kendali ini tentunya akan lebih sesuai digunakan pada data yang tidak berdistribusi Normal dibandingkan dengan peta kendali lain yang menggunakan pendekatan distribusi Normal. Selain itu, peta kendali Kernel juga lebih sensitif dalam mendeteksi proses yang *out of control* daripada peta kendali nonparametrik lainnya [1][2]. Dengan demikian, analisis pengendalian kualitas di PT. Iglas (Persero) dapat menggunakan peta kendali Kernel. Hasil tersebut akan memberikan informasi tentang pengendalian kualitas hasil proses produksi botol dengan metode yang sesuai, yaitu dengan peta kendali Kernel, dan indeks *conformity* dari hasil proses produksi botol kode 493 serta penyebab hasil proses tidak terkendali. Dengan adanya penelitian ini diharapkan dapat memberikan saran dan masukan bagi PT. Iglas (Persero)

untuk lebih meningkatkan proses produksi botol gelas, agar dapat menghasilkan produk botol gelas yang berkualitas tinggi sehingga dapat bersaing dengan perusahaan sejenis.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Peta Kendali Kernel

Peta kendali Kernel merupakan suatu peta kendali yang digunakan untuk mengevaluasi data karakteristik kualitas produk yang bersifat nonparametrik. Peta kendali ini menggunakan fungsi Kernel untuk menaksir nilai batas kendalinya. Fungsi Kernel mempunyai suatu parameter penghalus yang berguna mengatur derajat kehalusan untuk penghalus Kernel yang disebut *bandwidth h*.

Terdapat berbagai macam fungsi Kernel, yaitu: Uniform, Triangle, Epanechnikov, Quartic, Triweight, Gaussian, dan Cosinus. Macam – macam fungsi Kernel beserta fungsi densitasnya ditunjukkan seperti pada Tabel 1 [3].

Tabel 1.
Macam – macam Fungsi Kernel dan Fungsi Densitasnya

| Kernel | f(z) |
|--------------|--|
| Uniform | $\frac{1}{2}I(z \leq 1)$ |
| Triangle | $(1 - z)I(z \leq 1)$ |
| Epanechnikov | $\frac{3}{4}(1 - z^2)I(z \leq 1)$ |
| Quartic | $\frac{15}{16}(1 - z^2)^2I(z \leq 1)$ |
| Triweight | $\frac{35}{32}(1 - x^2)^3I(z \leq 1)$ |
| Gaussian | $\frac{1}{\sqrt{2\pi}}e^{(-\frac{1}{2}z^2)}I_{[-\infty, \infty]}(z)$ |
| Cosinus | $\frac{\pi}{4}\cos(\frac{\pi}{2}z)I(z \leq 1)$ |

Fungsi Kernel mempunyai sifat yang kontinu dan simetris di sekitar 0. Estimator Kernel pertama kali diperkenalkan oleh Rosenblatt pada tahun 1956 [3]. Secara umum estimator Kernel dengan $k(z)$ berbentuk $k(\frac{x-X_i}{h})$ dan *bandwidth h* didefinisikan sebagai berikut.

$$\hat{f}_h(x, h) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n k\left(\frac{x - X_i}{h}\right), -\infty < x < \infty \quad (2.1)$$

Dimana:

- k = Fungsi Kernel
- n = Jumlah Data
- h = *Bandwidth*, $h > 0$
- X_i = Pengamatan ke-i
- x = Penaksir Densitas Kernel

Estimasi Kernel dibangun dengan memusatkan skala Kernel pada setiap pengamatan. Nilai estimasi Kernel pada titik x adalah rata-rata dari n koordinat kernel pada saat itu [4]. Untuk variabel random X_1, X_2, \dots, X_n dengan suatu distribusi kontinyu yang tidak diketahui, estimator fungsi Kernel yang sesuai adalah sebagai berikut.

$$\hat{F}_{n,h}(x, h) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n k\left(\frac{x - X_i}{h}\right), -\infty < x < \infty \quad (2.2)$$

Dimana:

$$K(t) = \int_{-\infty}^t k(z)dz, t = \frac{x - X_i}{h} \quad (2.3)$$

adalah suatu fungsi distribusi yang mempunyai suatu densitas kontinu k yang simetris terhadap nol dengan varian tidak nol [5].

Bandwidth h yang merupakan parameter penghalus berfungsi seperti lebar interval. Apabila *bandwidth h* terlalu kecil maka akan menghasilkan kurva yang sangat kasar dan berfluktuasi, namun apabila terlalu besar akan menghasilkan kurva yang sangat mulus tetapi tidak sesuai dengan pola data [6]. Pemilihan *bandwidth* yang sesuai dapat dilakukan dengan memilih *bandwidth* yang memiliki nilai *Least Square Cross Validation* (LSCV) yang minimum [3].

Ada beberapa fungsi Kernel yang dapat digunakan sesuai dengan domain fungsi tersebut. Dari perbandingan penggunaan fungsi Kernel Gaussian dan fungsi Kernel Epanechnikov dalam peta Kendali Kernel, fungsi Kernel Epanechnikov memberikan hasil yang lebih baik daripada fungsi Kernel Gaussian [6]. Fungsi Kernel Epanechnikov didefinisikan sebagai berikut.

$$k(z) = \begin{cases} \frac{3}{4}(1 - z^2), & \text{jika } |z| \leq 1 \\ 0, & \text{lainnya} \end{cases} \quad (2.4)$$

Pemilihan yang optimal dari *bandwidth h* adalah [5]:

$$h = Cn^{-\frac{1}{3}} \quad (2.5)$$

dimana C adalah konstanta yang tergantung pada nilai σ , standar deviasi dari data. Nilai yang tepat untuk konstanta C pada sebagian besar fungsi Kernel adalah antara σ dan 2σ [6]. Untuk menentukan nilai C yang tepat dapat dilakukan simulasi. Penentuan nilai C yang tepat akan sama halnya dengan menentukan nilai *bandwidth* yang optimum, karena nilai *bandwidth* tergantung pada besarnya nilai C. Apabila σ tidak diketahui, maka diestimasi dengan standar deviasi sampel.

$$S_n = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(X_i - \bar{X}_n)^2}{n-1}} \quad (2.6)$$

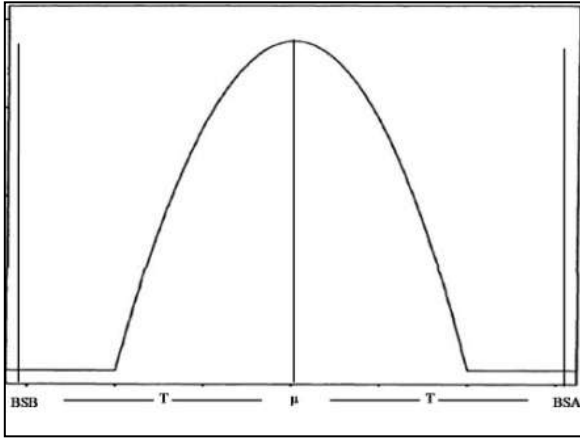
Estimator fungsi Kernel berdasarkan Kernel Epanechnikov adalah sebagai berikut.

$$\hat{F}_n(x) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{3}{4} \left(1 - \left(\frac{x - X_i}{Cn^{-1/3}}\right)^2\right)\right) \quad (2.7)$$

Nilai estimasi Kernel Epanechnikov untuk setiap X_i yang disimbolkan dengan $\hat{F}_n(x)$ dapat digambarkan dalam bentuk kurva yang berfungsi seperti kurval Normal dalam mencari batas kendali. Kurva fungsi Kernel Epanechnikov dapat lihat pada Gambar 1.

Dari Gambar 1 dapat dilihat bahwa batas kendali peta kendali Kernel dapat ditentukan dari *Confidence Interval* (CI) 95% dari $\mu \pm T$, dimana μ dapat diestimasi menggunakan \bar{x} . Batas kendali bawah ditentukan dari nilai $\bar{x} - T$ yang diperoleh dari nilai x yang maksimum dari luasan kurva $\hat{F}_n(x)$ bagian kiri yang lebih kecil dari $\frac{\alpha}{2}$, sedangkan batas kendali atas ditentukan dari nilai $\bar{x} + T$ yang diperoleh dari nilai x yang minimum dari luasan kurva $\hat{F}_n(x)$ bagian kanan yang

lebih besar dari $1 - \frac{\alpha}{2}$.



Gambar 1. Kurva Fungsi Kernel Epanechnikov

Batas kendali peta kendali Kernel adalah sebagai berikut.

$$BKA = \inf \left\{ x \left| \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n K \left(\frac{x - X_i}{Cn^{-1/3}} \right) \geq 1 - \frac{\alpha}{2} \right. \right\} \quad (2.8)$$

$$BKB = \sup \left\{ x \left| \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n K \left(\frac{x - X_i}{Cn^{-1/3}} \right) \leq \frac{\alpha}{2} \right. \right\} \quad (2.9)$$

Dimana:

- Inf = Inferior (Nilai Minimum)
- Sup = Superior (Nilai Maksimum)
- BKA = Batas Kendali Atas
- BKB = Batas Kendali Bawah
- n = Jumlah Data
- C = Konstanta Bernilai Antara σ dan 2σ
- X_i = Pengamatan ke- i
- x = Penaksir Densitas Kernel.

B. Pemilihan Bandwidth (h) Optimal

Pemilihan *bandwidth* sangat penting dalam mendapatkan estimator fungsi Kernel. Salah satu metode yang dapat digunakan dalam pemilihan *bandwidth* yang optimal adalah metode *Least Square Cross-Validation* (LSCV). LSCV didefinisikan sebagai berikut [3].

$$LSCV(h) = \int \hat{f}(z; h)^2 dz - \frac{2}{m} \sum_{i=1}^m \hat{f}_{-j}(x_i; h) \quad (2.10)$$

Dimana

$$\int \hat{f}(z; h)^2 dz = \frac{1}{m^2 h} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \frac{3}{160} (32 - 40z^2 + 20|z|^3 - |z|^5), |z| \leq 2$$

Dengan $z = \frac{x_i - X_j}{h}$

Dan

$$\hat{f}_{-j}(x_i; h) = \frac{1}{n-1} \sum_{j \neq i} \frac{3}{4} \left(1 - \left(\frac{x_i - X_j}{h} \right)^2 \right) \quad (2.12)$$

Dimana h didefinisikan sebagai $h = Cn^{-1/3}$, sehingga dalam memilih *bandwidth* yang optimal tergantung pada nilai C yang tepat. *Bandwidth* (h) yang optimal didapatkan dari nilai LSCV

yang minimum..

C. Diagram Sebab Akibat

Diagram sebab akibat atau diagram *ishikawa* adalah suatu grafik yang menggambarkan hubungan antara masalah atau akibat dengan faktor-faktor yang menjadi penyebabnya. Diagram sebab akibat disusun dengan suatu urutan yang mengacu pada berlangsungnya suatu proses. Tujuannya untuk mengetahui faktor-faktor apa saja yang menjadi penyebab terjadinya suatu masalah. Penyebab terjadinya suatu masalah pada umumnya adalah 4M+1E, yaitu Manusia, Mesin, Material, Metode dan Lingkungan [7].

D. Indeks Conformity Proses

Indeks *conformity* proses digunakan untuk menunjukkan sifat dari kapabilitas proses. Kemampuan suatu proses untuk memenuhi spesifikasi rancangan yang ditetapkan oleh rancangan teknik atau keinginan pelanggan dinamakan kapabilitas proses. Meskipun proses berada dalam kendali (stabil), keluaran dari proses tersebut bisa berada di luar spesifikasi. Indeks *conformity* proses merupakan peluang dari karakteristik kualitas untuk berada pada batas spesifikasi [8].

Perhitungan indeks *conformity* proses berdasarkan fungsi Kernel adalah sebagai berikut [8].

$$Y_{pk} = \int_{BSB}^{BSA} f(x) dx \quad (2.13)$$

$$Y_p = \max_{\mu} (Y_{pk}) = \max_{\mu} \left(\int_{BSB}^{BSA} f(x) dx \right) \quad (2.14)$$

Dimana:

- Y_{pk} = *Conformity* Aktual (Luasan)
- Y_p = *Conformity* Potensial (Luasan)
- $f(x)$ = Fungsi Densitas Kernel Epanechnikov
- μ = Rata - rata Data
- BSA = Batas Spesifikasi Atas
- BSB = Batas Spesifikasi Bawah

Nilai Y_{pk} dan Y_p merupakan peluang produk menghasilkan karakteristik kualitas yang berada di antara batas spesifikasi atas dan batas spesifikasi bawah. Untuk mengetahui jumlah produk yang tidak memenuhi spesifikasi dapat dihitung dengan ppm_{aktual} dan $ppm_{potensial}$ sebagai berikut.

$$ppm_{aktual} = (1 - Y_{pk})10^6 \quad (2.15)$$

$$ppm_{potensial} = (1 - Y_p)10^6 \quad (2.16)$$

Dari ppm_{aktual} dan $ppm_{potensial}$ dapat diketahui dari satu juta produk yang dihasilkan ada berapa produk yang tidak sesuai dengan batas spesifikasi yang ditentukan .

E. Proses Produksi Botol Gelas di PT. Iglas (Persero)

Proses produksi botol di PT. Iglas (Persero) mulai dari pemilihan bahan baku sampai keadaan botol yang siap diterima oleh konsumen, harus melalui beberapa tahapan proses produksi botol. Proses produksi botol meliputi: proses pencampuran bahan baku, proses peleburan bahan (*melting process*), pembentukan botol (*forming*), proses *Annealing*, proses pencetakan label, proses sortir dan pengawasan mutu, serta proses pengemasan.

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Sumber Data dan Variabel Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder, yaitu data hasil pengukuran yang dilakukan PT. Iglas (Persero) terhadap berat botol. Variabel penelitian yang digunakan adalah berat botol kode 493 pada periode produksi bulan Mei 2015 dengan data sebanyak 372 data.

Pengambilan sampel dilakukan pada proses sortir dan pengawasan mutu, tiap *mold* yang berisi 16 botol diambil sampel sebanyak 1 botol untuk diukur berat botol. Pengukuran berat botol dilakukan dengan timbangan digital dan diukur dalam satuan gram (gr). Pengambilan sampel dilakukan setiap 2 jam sekali. 1 shift sama dengan 8 jam, sehingga setiap shift diambil sampel sebanyak 4 kali. Dimana setiap harinya ada 3 shift kerja. Pengambilan sampel ini dilakukan selama 31 hari, yaitu pada tanggal 01 Mei 2015 – 31 Mei 2015 di PT. Iglas (Persero). Batas spesifikasi untuk berat botol kode 493 adalah 225 ± 3 gram.

B. Langkah Analisis

Langkah – langkah yang dilakukan untuk menganalisis masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengumpulkan data berat botol kode 493 pada masa produksi bulan Mei 2015.
2. Analisis data
 - a. Menghitung standar deviasi dari data berat botol.
 - b. Menentukan nilai C yang sesuai pada *bandwidth* (h) menggunakan Persamaan (2.10).
 - c. Membuat peta kendali nonparametrik berdasarkan fungsi Kernel untuk data berat botol kode 493. Langkah-langkahnya adalah:
 1. Menentukan fungsi Kernel Epanechnikov menggunakan Persamaan (2.7). Fungsi Kernel Epanechnikov merupakan suatu fungsi yang digunakan untuk mengestimasi batas kendali atas (BKA) dan batas kendali bawah (BKB) pada peta kendali Kernel.
 2. Membuat fungsi Kernel Epanechnikov dalam bentuk grafik.
 3. Menghitung batas kendali atas (BKA) dan batas kendali bawah (BKB) untuk peta kendali Kernel variabel berat botol kode 493 menggunakan Persamaan (2.8) dan (2.9).
 4. Membuat plot peta kendali Kernel.
 - d. Membuat diagram sebab akibat untuk mengetahui faktor-faktor apa saja yang menjadi penyebab proses tidak terkendali.
 - e. Menghitung indeks *conformity* proses menggunakan Persamaan (2.13) dan (2.14).

3. Kesimpulan

Pengolahan data dengan peta kendali nonparametrik berdasarkan fungsi Kernel akan memberikan informasi kepada perusahaan mengenai kondisi proses produksi botol kode 493 berdasarkan berat botol dan faktor – faktor penyebab proses tidak terkendali. Serta dapat memberikan informasi mengenai kesesuaian produk botol kode 493 berdasarkan berat botol.

IV. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

A. Deskripsi Data Berat Botol Kode 493

Jenis botol kode 493 merupakan salah satu jenis botol yang diproduksi PT. Iglas (Persero). Hasil statistika deskriptif dari berat botol tersebut adalah sebagai berikut.

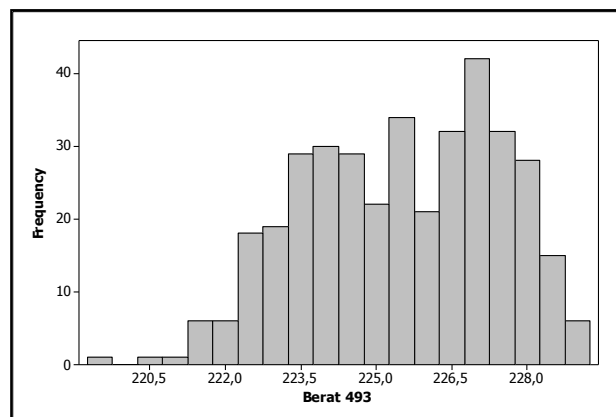
Tabel 2. Statistika Deskriptif Berat Botol Kode 493

| Mean | Standar Deviasi | Min. | Maks. | BSB | BSA |
|--------|-----------------|--------|--------|-----|-----|
| 225,46 | 1,94 | 219,33 | 228,90 | 222 | 228 |

Berdasarkan Tabel 2 diketahui bahwa rata-rata dari berat botol kode 493 adalah sebesar 225,46 dengan standar deviasi sebesar 1,94. Nilai standar deviasi yang sangat kecil, yaitu sebesar 1,94, menyebabkan apabila pengamatan dijadikan *subgroup* maka antar *subgroup* akan cenderung homogen. Padahal syarat untuk pengamatan yang dijadikan *subgroup* adalah antar *subgroup* harus heterogen. Oleh karena itu, pengamatan berat botol ini dilakukan secara individual.

B. Pemilihan Nilai C yang Sesuai pada Bandwidth

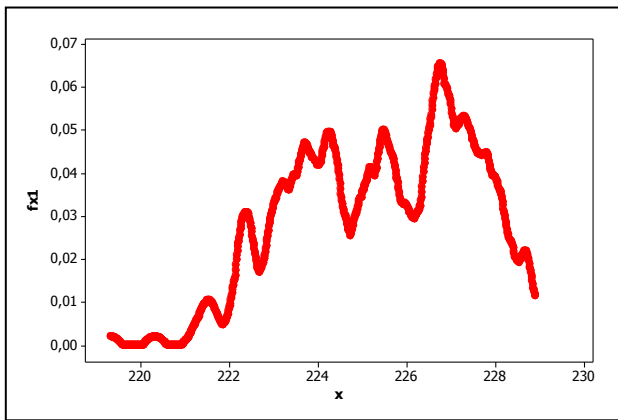
Pemilihan nilai *bandwidth* sangat penting dalam mendapatkan estimator fungsi Kernel. Dimana nilai ini akan digunakan dalam menentukan nilai batas kendali pada peta kendali Kernel. Nilai *bandwidth* tergantung pada nilai konstanta C yang digunakan. Penentuan nilai *bandwidth* yang sesuai sama dengan halnya menentukan nilai C yang sesuai. Nilai C dikatakan sesuai jika nilai estimasi Kernel mempunyai nilai *Least Square Cross Validation* (LSCV) yang paling minimum. Nilai untuk konstanta C adalah antara σ dan 2σ , sehingga dalam penelitian ini akan disimulasi nilai C sebesar 1σ , $1,5\sigma$, dan 2σ , untuk mencari nilai C yang sesuai. Histogram dari data berat botol kode 493 dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Histogram Berat Botol Kode 493

Setelah mengetahui pola persebaran data berat botol kode 493 seperti pada Gambar 2, maka akan ditentukan nilai C yang sesuai. Nilai C yang sesuai dapat diketahui dari nilai LSCV yang paling minimum. Simulasi pertama dilakukan dengan menggunakan nilai C sebesar σ dan fungsi densitas Kernel yang digunakan adalah fungsi Kernel Epanechnikov. Dengan menggunakan Persamaan (2.10) dan nilai C sebesar σ , diperoleh perhitungan nilai LSCV sebesar 145.390.

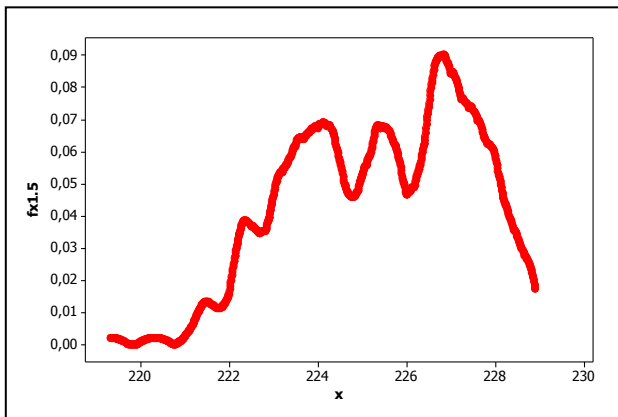
Dari nilai C sebesar σ didapatkan hasil *scatter plot* estimasi Kernel seperti pada Gambar 3. Dari gambar tersebut didapatkan pola yang menyerupai pola persebaran data berat botol kode 493.



Gambar 3. Scatter Plot Estimasi Kernel menggunakan Fungsi Kernel Epanechnikov dengan $C = \sigma$ Data Berat Botol Kode 493

Selanjutnya dilakukan simulasi dengan menggunakan nilai C sebesar $1,5\sigma$ dan fungsi densitas Kernel yang digunakan adalah fungsi Kernel Epanechnikov. Dengan menggunakan Persamaan (2.10) dan nilai C sebesar $1,5\sigma$, diperoleh perhitungan nilai LSCV sebesar 42.781,2.

Dari nilai C sebesar $1,5\sigma$ didapatkan hasil *scatter plot* estimasi Kernel seperti pada Gambar 4. Dari gambar tersebut juga didapatkan pola yang menyerupai pola persebaran data berat botol kode 493.

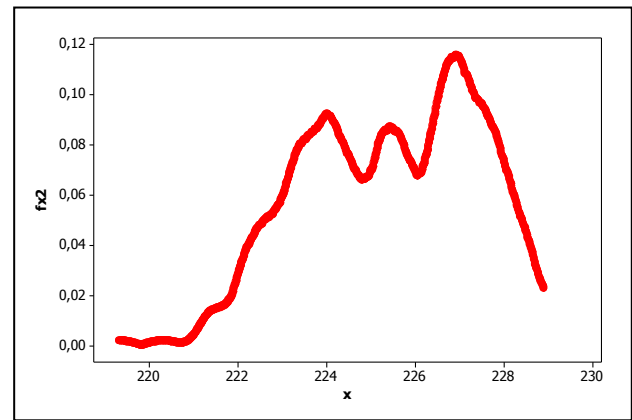


Gambar 4. Scatter Plot Estimasi Kernel menggunakan Fungsi Kernel Epanechnikov dengan $C = 1,5 \sigma$ Data Berat Botol Kode 493

Kemudian dilakukan simulasi dengan menggunakan nilai C sebesar 2σ dan fungsi densitas Kernel yang digunakan adalah fungsi Kernel Epanechnikov. Dengan menggunakan Persamaan (2.10) dan nilai C sebesar 2σ , diperoleh perhitungan nilai LSCV sebesar 17.872,6.

Dari nilai C sebesar 2σ didapatkan hasil *scatter plot* estimasi Kernel seperti pada Gambar 5. Dari gambar tersebut juga didapatkan pola yang menyerupai pola persebaran data berat botol kode 493.

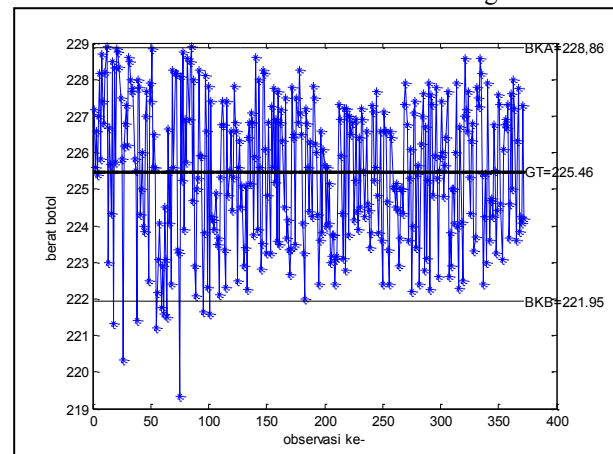
Dari ketiga nilai C yang disimulasi, didapatkan hasil bahwa nilai C yang sesuai untuk data berat botol kode 493 adalah sebesar 2σ . Nilai C sebesar 2σ memberikan hasil nilai LSCV yang paling minimum dibandingkan dengan dua nilai C yang lain. Selain itu, *scatter plot* estimasi Kernel dengan nilai C sebesar 2σ juga sesuai dengan pola persebaran data berat botol. Oleh karena itu, *bandwidth* yang digunakan pada penelitian ini adalah sebesar $2\sigma(n^{-1/3})$.



Gambar 5. Scatter Plot Estimasi Kernel menggunakan Fungsi Kernel Epanechnikov dengan $C = 2 \sigma$ Data Berat Botol Kode 493

C. Peta Kendali Kernel untuk Berat Botol Kode 493

Nilai rata – rata dari berat botol kode 493 adalah sebesar 225,46. Nilai rata – rata tersebut digunakan sebagai nilai garis tengah (GT). Batas kendali atas untuk peta kendali Kernel adalah sebesar 228,86 dan batas kendali bawahnya adalah sebesar 221,95. Hasil dari program Matlab didapatkan peta kendali Kernel untuk berat botol kode 493 sebagai berikut.

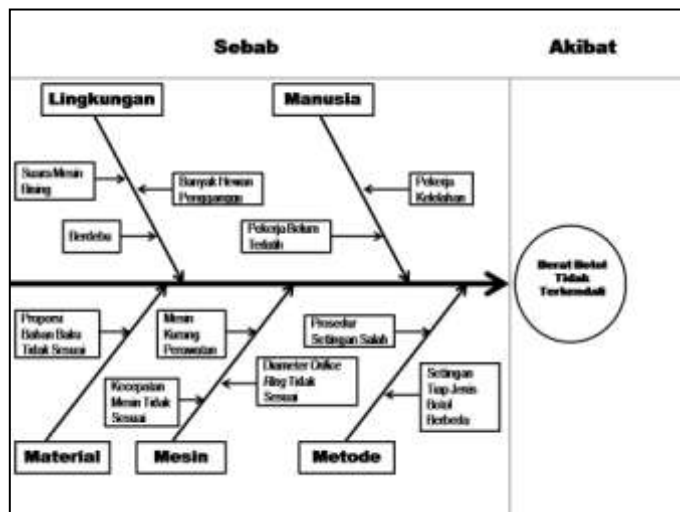


Gambar 6. Peta Kendali Kernel Berat Botol Kode 493

Dari Gambar 6 dapat diketahui ada 12 titik pengamatan yang berada di luar batas kendali dari total 372 titik pengamatan berat botol kode 493. Hal ini menunjukkan bahwa proses produksi botol kode 493 berdasarkan berat botol belum terkendali secara statistik. Oleh karena itu, diperlukan analisis menggunakan diagram sebab akibat untuk mengetahui penyebab proses tidak terkendali.

D. Diagram Sebab Akibat

Diagram sebab akibat untuk penyebab proses pembuatan produk botol kode 493 berdasarkan berat botol di luar kendali dapat dilihat pada Gambar 7. Pada faktor manusia yang menyebabkan proses tidak terkendali yaitu kelelahan, dan adanya pekerja yang belum terlatih. Pada faktor material yaitu ketidaksesuaian pada proporsi komposisi bahan baku yang digunakan. Faktor lingkungan yaitu adanya suara bising yang dihasilkan mesin, adanya debu, dan juga adanya hewan – hewan pengganggu seperti tikus, semut, dan sebagainya. Suara bising yang ditimbulkan oleh mesin dapat mengganggu aktivitas kerja operator.



Gambar 7. Diagram Sebab Akibat untuk Proses Pembuatan Botol Kode 493 Berdasarkan Berat Botol

Untuk faktor metode adalah *settingan* setiap jenis botol berbeda dan prosedur settingan salah. Berdasarkan faktor mesin yang menyebabkan proses tidak terkendali adalah mesin kurang mendapatkan perawatan, diameter *orifice ring* tidak sesuai, dan kecepatan mesin tidak sesuai. Semakin besar diameter *orifice ring* maka berat botol juga akan semakin besar. Dan jika kecepatan mesin pembentukan botol semakin cepat maka berat botol akan semakin berkurang.

E. Indeks Conformity Proses dari Berat Botol Kode 493

Dengan menggunakan indeks *conformity* Kernel pada Persamaan (2.13), didapatkan nilai Y_{pk} sebesar 0,8718. Dengan nilai Y_{pk} sebesar 0,8718 maka nilai ppm_{aktual} yang dihasilkan dari Persamaan (2.15) adalah sebesar 128.210. Hal ini berarti dalam 1.000.000 produk botol kode 493 yang diproduksi, akan ada sebanyak 128.210 produk yang tidak memenuhi batas spesifikasi yang telah ditentukan oleh perusahaan. Sedangkan jika dilihat dari nilai Y_p , didapatkan nilai Y_p dengan Persamaan (2.14) sebesar 0,3383. Dengan nilai Y_p sebesar 0,3383 maka nilai $ppm_{potensial}$ yang dihasilkan dari Persamaan (2.16) adalah sebesar 661.720. Hal ini menunjukkan bahwa dalam 1.000.000 produk botol kode 493 yang diproduksi, berpotensi akan ada sebanyak 661.720 produk yang tidak memenuhi batas spesifikasi yang telah ditentukan oleh perusahaan. Dengan nilai Y_{pk} dan Y_p yang masih sangat kecil serta banyaknya nilai ppm_{aktual} dan $ppm_{potensial}$ maka proses pembuatan produk botol kode 493 masih belum sesuai dengan spesifikasi dan proses tidak terkendali secara statistik.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari nilai LSCV diperoleh *bandwidth* yang optimum adalah menggunakan $2\sigma n^{-1/3}$. Dari hasil peta kendali Kernel dan indeks *conformity* Kernel, diperoleh bahwa pengamatan berat botol tidak terkendali secara statistik dan belum sesuai spesifikasi. Penyebab utama berat botol tidak terkendali yaitu diameter *orifice ring* dan kecepatan mesin pembentuk botol yang tidak sesuai, sehingga menyebabkan ketidaksesuaian berat botol.

Berdasarkan hasil peta kendali Kernel dan indeks *conformity* Kernel, sebaiknya dilakukan perbaikan pada proses pembuatan produk botol kode 493 agar hasil proses dapat terkendali secara statistik dan sesuai dengan spesifikasi. Untuk penelitian selanjutnya, perlu dilakukan penelitian berdasarkan aspek atau variabel lain, sehingga nantinya dapat membuat PT. Iglas (Persero) lebih maksimal dalam melakukan proses produksinya. Selain itu, penelitian sebaiknya menggunakan data produksi dalam periode yang lama, agar dapat memberikan informasi tentang stabilitas proses pada fase – fase produksi selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Estuningtyas, I. *Analisis Pengendalian Kualitas Produk Labelstock Menggunakan Diagram Kontrol Kernel di PT. "X"*. Tugas Akhir Jurusan Statistika FMIPA-ITS, Surabaya. (2013).
- [2] Septiningtyas, N. *Diagram Kontrol Kernel dan Kuantil Empirik serta Aplikasinya di PT. Cahaya Angkasa Abadi Sidoarjo*. Tugas Akhir Jurusan Statistika FMIPA-ITS, Surabaya. (2009).
- [3] Hardle, W. *Smoothing Techniques With Implementation in S*. New York: Springer-Verlag, Inc. (1990).
- [4] Wand, M.P., dan Jones, M.C. *Kernel Smoothing*. New York: Springer-Science+Business Media, B.V. (1995).
- [5] Mercado, G.R., Conerly, M.D., dan Perry, M.B. "Phase I Control Chart Based on a Kernel Estimator of the Quantile Function". *Quality and Reliability Engineering International*: 1201. (2011).
- [6] Vermaat (Thijs), M.B., Ion, R.A., Does, R.J.M.M., dan Klaassen, C.A.J. "A Comparison of Shewhart Individuals Control Charts Based on Normal, Non-parametric, and Extreme-value Theory". *Quality and Reliability Engineering International*, 19:340 – 341. (2003).
- [7] Montgomery, D.C. *Introduction to Statistical Quality Control 6th Edition*. New York: John Wiley & Sons, Inc. (2009).
- [8] Huang, W., Pahwa, A., dan Kong, Z. "Kernel Density Estimation and Metropolis-Hastings Sampling in Process Capability Analysis of Unknown Distributions". *Proceedings of the ASME 2012 International Manufacturing Science and Engineering Conference MSEC2012-7299*. USA, 4 – 8 Juni. ASME. (2012).