

Perbandingan Kinerja Peta Kendali CUSUM dan EWMA dalam Pengendalian Kualitas FJLB di PT Serbaguna Prima

Elisabeth Yeyen Setyorini, Sentot Didik Surjanto
Departemen Matematika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: sentotds@matematika.its.ac.id

Abstrak—Persaingan dalam dunia industri begitu ketat, salah satu faktor yang memengaruhi adalah adanya perkembangan teknologi. PT Serbaguna Prima merupakan bagian dari industri yaitu perusahaan yang memiliki spesialisasi dalam pengolahan kayu dan produk yang dihasilkan seperti FJLB (*Finger Joint Laminated Board*), *furniture*, komponen rumah, serta komponen piano. Produk yang menjadi objek penelitian adalah FJLB karena FJLB sendiri merupakan produk utama yang dihasilkan oleh perusahaan. Upaya dalam mengendalikan kualitas produk perlu dilakukan untuk mempertahankan serta meningkatkan mutu produk di tengah perkembangan teknologi serta persaingan yang ada dengan menggunakan alat pengendalian kualitas, salah satunya yaitu peta kendali. Peta kendali memuat informasi berupa keberlangsungan suatu proses produksi dan dapat diketahui produk pada pengamatan ke berapa yang tidak memenuhi spesifikasi. Penelitian ini membahas mengenai perbandingan kinerja peta kendali CUSUM (*Cumulative Sum*) dan EWMA (*Exponentially Weighted Moving Average*) dalam mendeteksi keadaan *out of control* pada proses produksi FJLB di PT Serbaguna Prima. Sesuai dengan hasil analisis serta pembahasan yang dilakukan, terdapat beberapa sampel yang berada di luar batas kendali, artinya produksi FJLB belum terkendali secara statistik. Hasil analisis perbandingan kinerja juga menunjukkan bahwa peta kendali CUSUM memberikan kinerja atau kemampuan sensitivitas yang lebih baik sebesar 5,714% dibandingkan dengan peta kendali EWMA dalam mendeteksi sinyal *out of control*.

Kata Kunci—FJLB, Pengendalian Kualitas, Peta Kendali CUSUM, Peta Kendali EWMA.

I. PENDAHULUAN

ERA digital tengah berkembang pesat ditandai dengan banyaknya penggunaan teknologi digital oleh masyarakat. Perkembangan ini membawa pengaruh yang cukup besar bagi sektor industri. Daya saing dan daya tahan usaha cenderung ditentukan oleh nilai lebih dari produk atau dari segi peningkatan kualitasnya. Kualitas suatu produk atau layanan dapat didefinisikan sebagai kesesuaian produk dan layanan tersebut untuk memenuhi atau melampaui penggunaan produk yang diminta oleh pelanggan[1]. Penting bagi produsen untuk memperhatikan tingkat kualitas barang yang diproduksi, salah satu cara yang dilakukan perusahaan untuk memenangkan persaingan adalah dengan meningkatkan mutu barang yang diproduksi. Produksi perlu dilakukan secara efisien agar tidak menimbulkan kerugian bagi perusahaan. Semakin sedikit cacat yang ditimbulkan dari proses produksi, semakin baik pula kualitas barang yang diproduksi, sehingga akan membentuk kepercayaan konsumen terhadap produk yang dihasilkan.

Pengendalian kualitas dengan alat bantu statistik bermanfaat untuk mengawasi tingkat efisiensi proses. Ada banyak cara yang dapat dilakukan dengan alat bantu statistik,

salah satunya menggunakan peta kendali untuk mengendalikan kualitas produk. Melalui data produksi yang diberikan, peta kendali mampu bekerja untuk mengendalikan kualitas produk. Peta kendali Shewhart mudah untuk digunakan tetapi peta kendali ini lemah dalam mendeteksi pergeseran rata-rata kecil dalam suatu proses produksi, sehingga terdapat alternatif atau pemecahan solusi yaitu dengan menggunakan peta kendali CUSUM dan EWMA. Metode ini dianggap sangat efisien dalam mendeteksi penyebab khusus dari variasi yang mengarah pada ketidaksesuaian produksi[2]. Dapat dikatakan bahwa dua peta kendali ini sangat efektif untuk mendeteksi pergeseran kecil. Hal ini sangat menguntungkan bagi sektor industri dan pelanggan karena dapat menjaga kestabilan proses produksi serta menghasilkan produk yang lebih berkualitas.

PT Serbaguna Prima merupakan sebuah perusahaan kayu olahan yang terletak di Desa Sambirejo, Pare, Kediri. Produk yang dihasilkan yaitu FJLB (*finger joint laminated board*), *furniture*, komponen rumah, dan komponen piano. Produk utamanya adalah FJLB yang merupakan papan dengan unsur penyusunnya terdiri dari potongan-potongan kecil kayu yang disambung[3]. Perusahaan ini bekerja dengan sistem *job order*, artinya perusahaan akan memproduksi barang sesuai dengan permintaan konsumen dengan kesepakatan yang disetujui sebelumnya. Penelitian ini membahas kinerja peta kendali CUSUM dan EWMA yang terfokus pada papan FJLB kemudian mengidentifikasi luaran dari kedua peta kendali. Hasil yang diperoleh diharapkan mampu menjadi masukan bagi perusahaan dalam menyusun strategi pengendalian kualitas produknya.

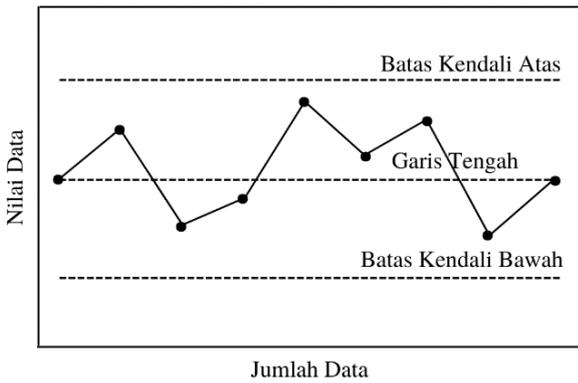
II. URAIAN PENELITIAN

Analisis dalam penelitian diawali dengan uji normalitas menggunakan uji Kolmogorov-Smirnov kemudian dilanjutkan dengan analisis menggunakan peta kendali CUSUM serta EWMA, dan diakhiri dengan membandingkan kinerja dari kedua peta kendali untuk memperoleh peta kendali terbaik dalam mendeteksi keadaan *out of control* pada proses produksi FJLB. Data yang digunakan berupa data ukuran panjang produk FJLB berbahan dasar kayu pinus di PT Serbaguna Prima

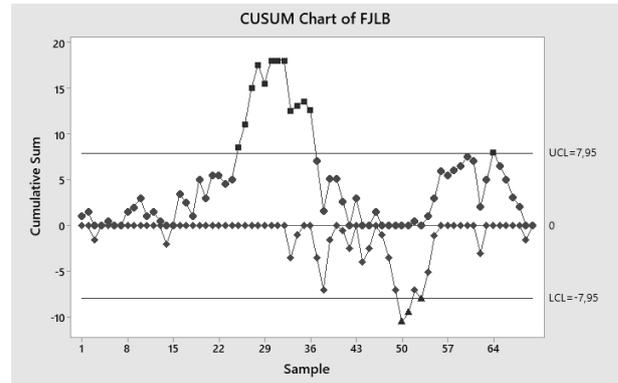
A. Pustaka

1) *Pengendalian Kualitas Statistik (Statistical Quality Control)*.

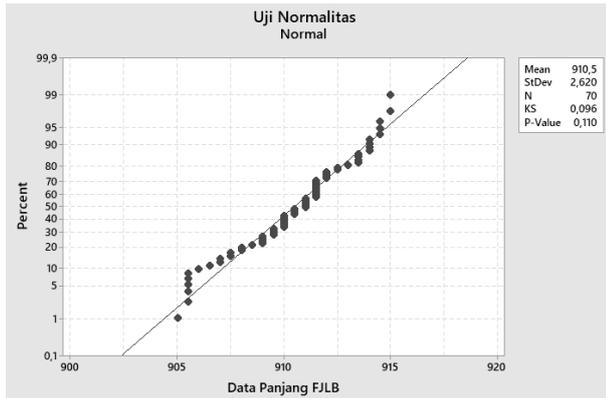
Pengendalian kualitas statistik (*Statistical Quality Control*) adalah kumpulan alat untuk memantau serta memelihara kualitas produk maupun jasa. Manfaat dari pengendalian kualitas statistik adalah sebagai berikut[4]:



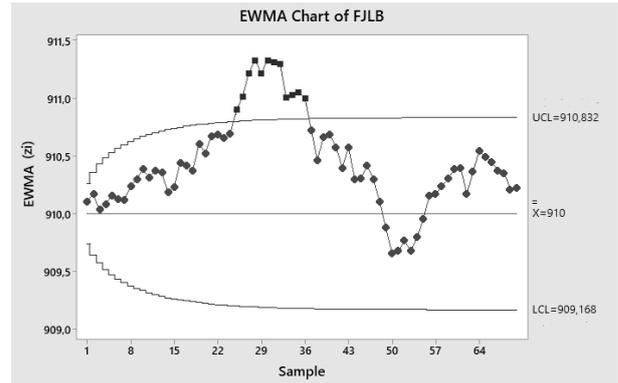
Gambar 1. Peta kendali.



Gambar 3. Peta kendali CUSUM panjang FJLB.



Gambar 2. Uji Normalitas menggunakan Minitab 19.



Gambar 4. Peta kendali EEWMA panjang FJLB.

- Sebagai sarana untuk mendeteksi kesalahan pada proses.
- Mengurangi biaya proses.
- Mengurangi penolakan barang dan menghemat biaya d. material.
- Menunjukkan hambatan atau titik permasalahan.

Penerapan pengendalian kualitas statistik perlu untuk ditekankan, karena dengan adanya alat tersebut maka perusahaan dapat meminimalisir produk yang tidak sesuai dan memikat konsumen untuk membeli produk dari perusahaan.

2) Peta Kendali

Peta kendali merupakan alat utama dalam pengendalian kualitas statistik yang digunakan sebagai alat pemantauan serta peningkatan proses yang sedang berjalan[5]. Secara spesifik, peta kendali digunakan untuk memantau apakah proses berada dalam kendali (*in control*) atau di luar kendali (*out of control*). Kondisi *out of control* terjadi sebab produk yang dihasilkan tidak sesuai dengan spesifikasi perusahaan ataupun keinginan pelanggan[6]. Terdapat tiga garis yang ditunjukkan pada Gambar 1. Pertama adalah garis tengah yang mengindikasikan pusat dari proses, selain itu garis tengah mewakili nilai rata-rata dari proses. Dua garis lain merupakan dua batas, yaitu batas kendali atas (BKA) dan batas kendali bawah (BKB). Dua batas inilah yang dijadikan dasar dalam mengambil keputusan suatu proses.

Jenis peta kendali ada dua, yaitu peta kendali atribut dan peta kendali variabel. Peta kendali atribut merupakan peta kendali yang berlandaskan sifat, sehingga data yang diklasifikasikan didasarkan pada sifat baik atau buruk, cacat atau tidak. Jenis atribut meliputi peta kendali p, np, c, u [1]. Jenis berikutnya, yaitu peta kendali variabel merupakan peta kendali yang menggunakan data yang diukur. Bentuk

penyampaian informasi dari peta kendali variabel dapat melalui peta kendali \bar{x} Shewhart dengan meninjau simpangan baku yang dinamakan peta kendali $\bar{x} - s$, atau dengan meninjau rentang yang dinamakan $\bar{x} - R$, CUSUM, ataupun EWMA[1].

Penyusunan peta kendali memerlukan nilai mean (μ) dan simpangan baku (σ). Nilai tersebut diperoleh melalui salah satu dari dua kemungkinan yaitu pertama, mean dan simpangan baku berdasarkan standar yang ditetapkan perusahaan atau yang kedua dilakukan penaksiran. Dalam penaksiran, nilai $\hat{\mu}_0$ menyatakan rata-rata dari seluruh rata-rata setiap pengamatan, sedangkan $\hat{\sigma}$ menyatakan estimasi dari simpangan baku[7].

3) Peta Kendali CUSUM

Peta kendali CUSUM diperkenalkan oleh Page pada tahun 1954 untuk mengawasi rata-rata proses. Peta ini menghimpun semua informasi berupa nilai-nilai sampel. Sampel- sampel inilah yang menjadi titik pengamatan dengan menampilkan jumlah kumulatif nilai rata-rata sampel atas nilai rata-rata proses. Rumus CUSUM seperti yang dituliskan pada persamaan (1).

$$C_i = \sum_{i=1}^m (\bar{x}_i - \mu_0) \tag{1}$$

Keterangan:

- C_i : jumlah kumulatif sampel ke- i
- \bar{x}_i : rata-rata sampel ke- i
- μ_0 : nilai rata-rata proses

Terdapat dua cara untuk menampilkan peta kendali CUSUM, yaitu Tabular (algoritmik) CUSUM dan V-mask CUSUM. Cara kerja Tabular CUSUM adalah dengan mengakumulasi derivasi dari μ_0 yang berada di atas nilai target yang dilambangkan dengan C_i^+ dan C_i^- untuk pergeseran di bawah nilai target. Nilai C_i^+ dan C_i^- dapat

dinyatakan dengan persamaan (2) – (5) [8]:

$$C_i^+ = \max [0, \bar{x}_i - (\mu_0 + K) + C_{i-1}^+] \quad (2)$$

$$C_i^- = \max [0, (\mu_0 - K) - \bar{x}_i + C_{i-1}^-] \quad (3)$$

$$C_i^+ = C_i^- = 0$$

Nilai K diperoleh dari:

$$K = k\sigma_{\bar{x}} \quad (4)$$

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (5)$$

Keterangan:

C_i^+ : upward CUSUM ke- i

C_i^- : downward CUSUM ke- i

μ_0 : nilai target

\bar{x}_i : nilai rata-rata pengamatan ke- i

K : nilai kelonggaran

$\sigma_{\bar{x}}$: simpangan baku

Nilai k biasanya dipilih dari setengah pergeseran yang dianggap cukup penting untuk dideteksi. Dalam hal ini digunakan rekomendasi beberapa penelitian, yaitu $k = 0, 5$ [8]. Proses pembentukan peta kendali memerlukan suatu batas kendali yang digunakan untuk menunjukkan apakah proses ada dalam kendali atau justru sebaliknya. Batas kendali yang terdiri dari BKA dan BKB dapat diperoleh dengan mengikuti persamaan (6) dan (7).

$$BKA = H = h\sigma_{\bar{x}} \quad (6)$$

$$BKB = -H = -h\sigma_{\bar{x}} \quad (7)$$

4) Peta Kendali EWMA

Peta kendali EWMA diperkenalkan oleh Robert (1959) [9] dan merupakan alternatif untuk mendeteksi pergeseran rata-rata proses yang kecil. Secara khusus grafik EWMA digunakan pada pengamatan secara individu, yaitu ukuran sampel $n = 1$. Untuk EWMA dengan ukuran sampel $n > 1$ dapat didefinisikan pada persamaan (8).

$$z_i = \lambda \bar{x}_i + (1 - \lambda)z_{i-1} \quad (8)$$

Keterangan:

z_i : nilai statistik EMWA

\bar{x}_i : nilai rata-rata pengamatan ke- i

λ : parameter bobot dengan $0 < \lambda \leq 1$

dengan $i = 1, 2, 3, \dots, m$

Nilai awal yang diberikan dapat dinyatakan dengan $z_0 = \mu_0$ dan diperoleh dengan persamaan (9).

$$z_0 = \mu_0 = \frac{\sum_{i=1}^m \bar{x}_i}{m} \quad (9)$$

dengan m adalah besar sampel. Ukuran pemusatan data pada z_i merupakan nilai mean. Ini menjadi dasar persamaan (9) yaitu mean pada EWMA dapat dinyatakan dengan z_0 dan hal tersebut dapat ditunjukkan menggunakan beberapa sifat ekspektasi.

Dalam peta kendali EWMA terjadi pergerakan *average* [10] dimana bentuk *average* tersebut akan sama jumlahnya dengan banyak data panjang FJLB yang digunakan. Selain pergerakan *average*, juga terjadi perubahan secara eksponensial pada bobot. Kedua faktor ini menjadi alasan

kuat peta kendali ini disebut *Exponentially Weighted Moving Average*.

Ukuran penyebaran data pada z_i dinyatakan oleh nilai varians. Beberapa sifat ekspektasi serta varians dapat digunakan untuk menunjukkan hal ini [11]. Jika \bar{x}_i adalah variabel acak bebas independen dengan varians σ^2 , maka varians untuk z_i adalah sebagaimana ditunjukkan pada persamaan (10) [8]:

$$\sigma_{z_i}^2 = \sigma^2 \left(\frac{\lambda}{2-\lambda} \right) [1 - (1 - \lambda)^{2i}] \quad (10)$$

Batas kendali atas (BKA) dan batas kendali bawah (BKB) peta kendali EWMA, yaitu:

$$BKA = z_0 + L \sqrt{\sigma_{z_i}^2} = z_0 + L\sigma \sqrt{\left(\frac{\lambda}{2-\lambda} \right) [1 - (1 - \lambda)^{2i}]} \quad (11)$$

$$BKB = z_0 - L \sqrt{\sigma_{z_i}^2} = z_0 - L\sigma \sqrt{\left(\frac{\lambda}{2-\lambda} \right) [1 - (1 - \lambda)^{2i}]} \quad (12)$$

Dengan L merupakan lebar batas kendali. Jika nilai $i = 1, 2, \dots, m$ mendekati tak hingga, maka $\sigma_{z_i}^2$ menuju nilai limitnya [12]. Hal ini berpengaruh terhadap persamaan (11) dan (12) sehingga menjadi persamaan (13) dan (14) berikut ini:

$$BKA = \mu + L\sigma \sqrt{\left(\frac{\lambda}{2-\lambda} \right)} \quad (13)$$

$$BKB = \mu - L\sigma \sqrt{\left(\frac{\lambda}{2-\lambda} \right)} \quad (14)$$

5) Uji Normalitas

Uji normalitas merupakan uji yang digunakan untuk menentukan sebaran data dalam suatu kelompok berdistribusi normal atau tidak. Uji normalitas dalam penelitian ini menggunakan uji Kolmogorov-Smirnov pada persamaan (15) [13]:

$$D_{hitung} = \max |S(x_i) - F_0(x_i)| \quad (15)$$

Keterangan:

D_{hitung} : deviasi maksimum

$S(x_i)$: fungsi distribusi kumulatif dari data sampel

$F_0(x_i)$: fungsi distribusi kumulatif normal standar

Jika nilai $D_{hitung} < D_{\alpha; m}$ (nilai $\alpha = 0,05$) maka data sampel berdistribusi normal dan berlaku sebaliknya.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Finger Joint Laminated Board

FJLB (*Finger Joint Laminated Board*) merupakan suatu papan kayu laminasi. Unsur penyusunnya adalah potongan atau balok-balok kayu yang kemudian direkatkan. Penelitian yang dilakukan penulis terfokus pada FJLB, karena FJLB merupakan produk utama yang diproduksi oleh PT Serbaguna Prima. Bahan baku yang digunakan dalam pembuatan FJLB di PT Serbaguna Prima ada tiga, yaitu kayu pinus, sengon, dan nyatoh. Menurut bagian produksi dan berdasarkan fakta di lapangan, kayu pinus yang banyak digemari karena durabilitas dan kekokohnya lebih tinggi dibandingkan dengan sengon, sedangkan kayu nyatoh dikhususkan untuk

pembuatan FJLB yang akan diproduksi lebih lanjut menjadi pintu. Pada umumnya, daya tahan produk FJLB ketika sudah diolah lebih lanjut menjadi mebel adalah lebih dari sepuluh tahun. Menurut bagian produksi di PT Serbaguna Prima, kisaran waktu ini juga tidak lepas dari pengaruh suhu, cuaca, serta perawatan yang diberikan.

B. Data Kapal

Produksi sangat mempengaruhi kualitas FJLB yang dihasilkan. Ada beberapa tahap yang harus dilalui dalam proses pembuatan FJLB, yaitu:

1. *Pengeringan kayu*
Proses pengeringan dilakukan hingga kadar air dalam kayu berada dalam kisaran 8-12%.
2. *Ripping*
Proses *ripping* merupakan proses dimana kayu dipotong menjadi ukuran kecil.
3. *Planner*
Planner adalah proses penghalusan kayu untuk bagian muka atas dan bagian muka bawah.
4. *Pemotongan*
Kayu yang telah melalui proses *planner* kemudian akan dipotong sesuai *grade*.
5. *Finger Joint*
Potongan-potongan kayu diproses dalam mesin *finger joint* yang mengakibatkan kayu bergerigi (menyerupai jari) kemudian disambungkan. Pada tahap ini kayu yang dihasilkan berbentuk lonjoran.
6. *Moulding*
Pada tahap *moulding* dilakukan penghalusan keempat sisi kayu karena sisi yang akan diberi lem harus halus.
7. *Press*
Proses yang dilakukan setelah *moulding* adalah perekatan lonjoran kayu. Setelah direkatkan, dilakukan proses *press* supaya lonjoran-lonjoran kayu tersebut menjadi lebih rekat dan membentuk papan yang lebar.
8. *Sander*
Sander merupakan tahap penghalusan permukaan. Proses ini bertujuan untuk menghilangkan sisa-sisa lem.
9. *Pemotongan lebar*
Papan kayu kemudian dipotong lebarnya dengan menggunakan mesin tenona.
10. *Pemotongan panjang*
Pada tahap ini dilakukan pemotongan panjang dengan target panjang sebesar 910 mm. Panjang FJLB adalah bagian yang diteliti. Untuk memastikan kesesuaian kayu, maka dilakukan pengecekan secara manual oleh pegawai setempat.
11. *Packing*
Tahap terakhir adalah pengemasan (*packing*) FJLB yang telah melewati tahap pengecekan.

C. Uji Normalitas Data

Data sampel berupa panjang produk FJLB yang telah diambil sebelumnya perlu diuji kenormalannya, sehingga perlu dilakukan uji normalitas. Hasil dari uji normalitas ini menunjukkan apakah data sampel berdistribusi normal atau tidak. Hal ini dilakukan agar memenuhi asumsi bahwa data sampel berdistribusi normal sebelum dianalisis lebih dalam lagi menggunakan peta kendali CUSUM dan EWMA.

Pada penelitian ini digunakan Uji Kolmogorov-Smirnov. Jika ditinjau dari persamaan (15) maka perlu didapatkan nilai

$S(x_i)$ yang merupakan fungsi distribusi kumulatif data sampel dan $F_0(x_i)$ yang merupakan fungsi distribusi kumulatif normal standar. Bagian ini memuat penghitungan nilai statistik uji dengan hipotesis sebagai berikut:

H_0 : data panjang FJLB berdistribusi normal

H_1 : data panjang FJLB tidak berdistribusi normal

Penghitungan menghasilkan nilai statistik uji, yaitu $D_{hitung} = 0,08657$ serta $D_{0,05;70} = 0,16$. Kedua nilai yang diperoleh ini menunjukkan bahwa $D_{hitung} < D_{0,05;70}$ sehingga H_0 dapat diterima yang berarti data panjang FJLB berdistribusi normal. Uji Normalitas juga dapat dilakukan dengan menggunakan Minitab 19.

Gambar 2 merupakan hasil plot uji normalitas dengan menggunakan Minitab 19. Komponen-komponen penyusunnya terdiri dari garis hitam atau garis diagonal yang menunjukkan nilai $F_0(x_i)$, kemudian titik-titik hitam di sekitar garis merupakan nilai $S(x_i)$. Jarak dari $S(x_i)$ dengan $F_0(x_i)$ inilah yang disebut nilai D_{hitung} .

Jika nilai P_{value} semakin besar, maka titik-titik hitam akan semakin mendekati garis diagonal dan sebaliknya. Nilai P_{value} yang diperoleh sebesar 0,110 dimana nilainya lebih besar dari nilai signifikansi 0,05 atau dapat dituliskan $P_{value} > \alpha$ sehingga H_0 dapat diterima, artinya data ukuran panjang produk FJLB berdistribusi normal.

D. Analisis menggunakan Peta Kendali CUSUM

Peta kendali CUSUM digunakan untuk mengetahui apakah data panjang FJLB di PT Serbaguna Prima terkendali secara statistik atau tidak. Peta kendali CUSUM yang digunakan dalam penelitian ini adalah jenis tabular. Langkah pertama yang dilakukan adalah menghitung simpangan baku dari data ukuran panjang FJLB. Perlu diperhatikan bahwa besar sampel adalah $n = 2$ sehingga penghitungan simpangan baku mengikuti persamaan (5) serta nilai kelonggaran mengikuti persamaan (4) sebagai berikut:

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{2,8115}{1,4142}$$

$$K = k\sigma_{\bar{x}} = 0,5 \times 1,988 = 0,994$$

Tahap berikutnya adalah menentukan nilai H untuk menentukan batas kendali atas (BKA) dan batas kendali bawah (BKB) yang diperoleh dengan menggunakan persamaan (6) dan (7). Telah didefinisikan pula bahwa nilai $h = 4$ yang diperoleh dari rekomendasi penelitian sebelumnya.

$$BKA = 7,952$$

$$BKB = -7,952$$

Penentuan nilai statistik dari peta kendali tabular CUSUM dapat dilakukan menggunakan persamaan (2) dan (3) dengan melakukan substitusi data ukuran panjang FJLB. Perusahaan juga telah menetapkan target sebesar 910 mm sehingga nilai $\mu_0 = 910$. Pada bagian ini akan ditunjukkan masing-masing dua nilai statistik dari C_i^+ dan C_i^- sebagai berikut:

$$C_1^+ = \max [0, \bar{x}_1 - (\mu_0 + K) + C_0^+]$$

$$= \max [0, 912 - (910 + 0,994) + 0]$$

$$= \max[0, 1,006] = 1,006$$

$$\begin{aligned} C_2^+ &= \max [0, \bar{x}_2 - (\mu_0 + K) + C_1^+] \\ &= \max[0, 911,5 - (910 + 0,994) + 1,006] \\ &= \max[0, 1,512] = 1,512 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_1^- &= \max [0, (\mu_0 - K) - \bar{x}_1 + C_0^-] \\ &= \max [0, (910 - 0,994) - 912 + 0] \\ &= \max[0, -2,994] = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_2^- &= \max [0, (\mu_0 - K) - \bar{x}_2 + C_1^-] \\ &= \max [0, (909,006) - 911,5 + 0] \\ &= \max[0, -2,494] = 0 \end{aligned}$$

Cara yang sama juga diterapkan untuk nilai statistik berikutnya, yaitu dari C_3^+ dan C_3^- hingga mencakup seluruh data panjang FJLB. Perlu diperhatikan bahwa nilai statistik C_i^- mengakumulasi nilai yang berada di bawah target, sehingga bernilai negatif. Perolehan nilai statistik dari C_i^+ dan C_i^- tersebut dapat disusun menjadi peta kendali CUSUM produk FJLB yang ditunjukkan oleh Gambar 3.

BKA pada Gambar 3 dinyatakan dengan UCL (*upper control limit*), sedangkan BKB dinyatakan dengan LCL (*lower control limit*). Berdasarkan Gambar 3, terdapat titik-titik berwarna hitam dengan pola berbeda. Titik-titik tersebut memiliki makna sebagai berikut:

- : Titik plot C_i^+ dan C_i^- yang berada di dalam batas kendali, artinya pada saat itu sampel yang bersesuaian telah memenuhi spesifikasi.
- : Titik plot C_i^+ yang berada di luar BKA, artinya pada saat itu sampel yang bersesuaian tidak memenuhi spesifikasi.
- ▲ : Titik plot C_i^- yang berada di luar BKB, artinya pada saat itu sampel yang bersesuaian tidak memenuhi spesifikasi.

Gambar 3 menunjukkan bahwa terdapat 13 titik yang berada di luar BKA, yaitu titik plot ke-25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, dan 64. Begitu juga terdapat 3 titik yang berada di luar BKB yaitu titik plot ke-50, 51, dan 53. Titik-titik *out of control* ini menunjukkan bahwa panjang produk FJLB tidak terkendali secara statistik.

E. Analisis menggunakan Peta Kendali EWMA

Analisis dengan peta kendali EWMA digunakan untuk mengetahui apakah data panjang FJLB di PT Serbaguna Prima terkendali secara statistik atau tidak. Nilai awal yang digunakan dalam penghitungan ini diperoleh dari target yang ditetapkan perusahaan yaitu $z_0 = \mu_0 = 910$. Selain itu penelitian ini menggunakan faktor pembobotan yaitu λ sebesar 0,05 serta lebar batas kendali, $L = 2,615$. Nilai ini dipilih karena memiliki sensitivitas yang baik, artinya kedua parameter ini mampu mendeteksi banyak keadaan *out of control*. Pada bagian ini akan dicari terlebih dahulu nilai BKA dan BKB dengan persamaan (11) dan (12).

Untuk $i = 1$

$$\begin{aligned} BKA &= z_0 + L\sigma \sqrt{\left(\frac{\lambda}{2-\lambda}\right) [1 - (1 - \lambda)^{2(1)}]} \\ &= 910 + 2,615(1,988) \sqrt{\frac{0,05}{2-0,05} (1 - (1 - 0,05)^2)} \\ &= 910,26 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} BKB &= z_0 - L\sigma \sqrt{\left(\frac{\lambda}{2-\lambda}\right) [1 - (1 - \lambda)^{2(1)}]} \\ &= 910 - 2,615(1,988) \sqrt{\frac{0,05}{2-0,05} (1 - (1 - 0,05)^2)} \\ &= 909,74 \end{aligned}$$

Untuk $i = 2$

$$\begin{aligned} BKA &= z_0 + L\sigma \sqrt{\left(\frac{\lambda}{2-\lambda}\right) [1 - (1 - \lambda)^{2(2)}]} \\ &= 910 + 2,615(1,988) \sqrt{\frac{0,05}{2-0,05} (1 - (1 - 0,05)^4)} \\ &= 910,359 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} BKB &= z_0 - L\sigma \sqrt{\left(\frac{\lambda}{2-\lambda}\right) [1 - (1 - \lambda)^{2(2)}]} \\ &= 910 - 2,615(1,988) \sqrt{\frac{0,05}{2-0,05} (1 - 4)} \\ &= 909,641 \end{aligned}$$

Cara tersebut juga terus diterapkan untuk penentuan letak batas kendali berikutnya. Sesuai pendefinisian nilai awal dan beberapa parameter yang ada, maka dapat dihitung nilai statistik dari z_i dengan menggunakan persamaan (8) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} z_1 &= x_1 + (1 - \lambda)z_0 \\ &= 0,05(912) + (1 - 0,05)910 = 45,6 + 0,95(910) \\ &= 910,1 \\ z_2 &= x_2 + (1 - \lambda)z_1 \\ &= 0,05(911,5) + 0,95(9190,1) = 45,575 + 864,595 \\ &= 910,17 \end{aligned}$$

Penghitungan nilai statistik EWMA tersebut terus berlanjut dengan menggunakan cara yang sama hingga mencakup seluruh data dari panjang FJLB. Melalui penghitungan yang ada, berikut dapat ditunjukkan bentuk grafis dari peta kendali EWMA terhadap panjang FJLB dengan Gambar 4.

BKA dalam Gambar 4 dinyatakan dengan UCL, BKB dinyatakan dengan LCL, dan untuk target dinyatakan dengan \bar{x} . Titik-titik plot yang ada memiliki makna sebagai berikut:

- : Titik plot z_i yang berada di dalam batas kendali, artinya pada saat itu sampel yang bersesuaian telah

memenuhi spesifikasi.

- : Titik plot z_i yang berada di luar BKA dan BKB, artinya pada saat itu sampel yang bersesuaian tidak memenuhi spesifikasi σ yang bersesuaian tidak memenuhi spesifikasi.

Gambar 4 menunjukkan bahwa terdapat titik-titik di luar batas kendali, yaitu sebanyak 12 titik. Kedua belas titik yang berada di luar BKA, yaitu titik plot ke-25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, dan 36 sehingga dapat dikatakan bahwa panjang produk FJLB tidak terkendali secara statistik.

F. Perbandingan Hasil dari Peta Kendali CUSUM dan EWMA

Perbandingan dari kedua peta kendali ini menunjukkan peta kendali yang lebih sensitif dalam mendeteksi keadaan tidak terkendali (*out of control*) pada produk FJLB di PT Serbaguna Prima. Titik-titik yang berada di luar batas kendali menandakan bahwa pada sampel yang bersesuaian, produk FJLB tidak dapat memenuhi spesifikasi. Munculnya *sinyal out of control* dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor sehingga proses produksi menjadi tidak terkendali. Faktor-faktor ini bisa berupa bahan baku yang digunakan, metode kerja serta pekerja, ataupun mesin. Penghitungan persentase kinerja peta kendali ditunjukkan dengan cara berikut:

Peta Kendali CUSUM

$$\text{Presentase} = \frac{16}{70} \times 100\% = 22,857\%$$

Peta Kendali EWMA

$$\text{Presentase} = \frac{12}{70} \times 100\% = 17,143\%$$

Hasil persentase tersebut menunjukkan bahwa peta kendali CUSUM memiliki sensitivitas yang lebih tinggi sebesar 5,714% dibandingkan dengan peta kendali EWMA dalam mendeteksi keadaan *out of control*.

IV. KESIMPULAN

Sesuai dengan analisis dan pembahasan yang disajikan, untuk uji pengendalian kualitas menggunakan peta kendali CUSUM pada produk FJLB di PT Serbaguna Prima dengan kayu yang diamati adalah kayu pinus menunjukkan bahwa terdapat nilai statistik dalam hal ini 16 titik yang berada di luar batas kendali (*out of control*) dari 70 pengamatan. Berdasarkan hasil yang diperoleh, dapat dikatakan bahwa produk FJLB belum terkendali secara statistik. Pengendalian kualitas dengan penerapan peta kendali EWMA pada produk FJLB menunjukkan bahwa terdapat 12 titik yang berada di

luar batas kendali dari 70 pengamatan, sehingga dapat disimpulkan juga bahwa produk FJLB belum terkendali secara statistik. Hasil perbandingan kinerja peta kendali menunjukkan bahwa peta kendali CUSUM lebih sensitif sebesar 5,714% dibandingkan dengan EWMA, artinya CUSUM mampu mendeteksi lebih banyak keadaan *out of control*. Berdasarkan hal tersebut, CUSUM lebih efektif digunakan dalam pemantauan panjang produk produk FJLB di PT Serbaguna Prima.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Mitra, *Fundamentals of Quality Control and Improvement*, 4th ed. New York: John Wiley and Sons, Inc, 2016.
- [2] V. D. C. C. de Vargas, L. F. D. Lopes, and A. M. Souza, "Comparative study of the performance of the CuSum and EWMA control charts," *Comput Ind Eng*, vol. 46, no. 4 SPEC. ISS., pp. 707–724, 2004, doi: 10.1016/j.cie.2004.05.025.
- [3] P. Pusporin, S. S. Dahdah, and B. Supriyadi, "Pengendalian kualitas produk finger joint laminating board dengan pendekatan six sigma," *Qual Eng*, vol. 6, no. 5, pp. 33–39, 2005.
- [4] A. Kamaraj, "Monitoring the quantity and period of milk production by a sindhi cow using statistical quality control charts," *International Journal of Science and Research*, vol. 9, no. 12, pp. 430–433, 2020, doi: 10.21275/SR21107194701.
- [5] G. Suman and D. R. Prajapati, "Control chart applications in healthcare: A literature review," *International Journal of Metrology and Quality Engineering*, vol. 9, no. 5, pp. 1–21, 2018, doi: 10.1051/ijmqe/2018003.
- [6] A. Nurhaedah, M. K. Aidid, and S. Sudarmin, "Membandingkan grafik kendali shewhart dengan grafik kendali cumulative sum (cusum) dalam mendeteksi pergeseran rata-rata kekeruhan air," *Journal of Statistics and Its application on Teaching and Research*, vol. 2, no. 3, pp. 122–127, Aug. 2020, doi: 10.35580/variansium14640.
- [7] N. A. Saleh, M. A. Mahmoud, L. A. Jones-Farmer, I. Zwetsloot, and W. H. Woodall, "Another look at the EWMA control chart with estimated parameters," *Journal of Quality Technology*, vol. 47, no. 4, pp. 363–382, 2015, doi: 10.1080/00224065.2015.11918140.
- [8] D. C. Montgomery, *Introduction to Statistical Quality Control 6th Edition*, 6th ed. New York: John Wiley and Sons, Inc, 2009.
- [9] M. D. Diko, R. Goedhart, and R. J. M. M. Does, "A head-to-head comparison of the out-of-control performance of control charts adjusted for parameter estimation," *Qual Eng*, vol. 32, no. 4, pp. 643–652, Oct. 2020, doi: 10.1080/08982112.2019.1666140.
- [10] F. Yulianti, "Perbandingan Kinerja Diagram Kontrol EWMA (Exponentially Weighted Moving Average) dan DOB (Decision of Belief) pada Pengendalian Kualitas Produk Etiket Rokok Studi Kasus PT Gudang Garam Direktorat Grafika," Departemen Matematika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2017.
- [11] M. E. Lee J. Bain, *Introduction to Probability and Mathematical Statistics*, 2nd ed. California: Duxbury Press, 2000.
- [12] N. Hidayah, "Kajian Perbandingan Kinerja Grafik Pengendali CUSUM dan EWMA dalam Mendeteksi Pergeseran Rata-Rata Proses," Departemen Matematika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2010.
- [13] F. J. Massey, "The kolmogorov-smirnov test for goodness of fit," *J Am Stat Assoc*, vol. 46, no. 253, pp. 68–78, 1951, doi: 10.1080/01621459.1951.10500769.