

Fuzzy Univariate Control Chart untuk *Monitoring* Kualitas Ketebalan Lem *Labelstock* di PT “XYZ”

Rivi Monica Pratiwi dan Wibawati
Departemen Statistika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: wibawati@statistika.its.ac.id

Abstrak—Perkembangan industri sektor barang dan jasa terus bertambah seiring perkembangan peradaban. Oleh karena itu perusahaan berlomba-lomba menghasilkan produk dengan kualitas yang baik. PT “XYZ” merupakan salah satu perusahaan yang bergerak dalam bidang pembuatan *labelstock*, *release liner*, dan *adhesive tape*. Dalam proses produksinya, PT “XYZ” berupaya untuk terus menjaga kualitas sehingga dapat menghasilkan produk bernilai tinggi sesuai permintaan pelanggan. Kualitas produksi *labelstock* dapat diukur dari daya rekat lem yang digunakan. Hal tersebut tentunya dipengaruhi oleh ketebalan lem pada *labelstock*. Pada proses produksinya, PT “XYZ” melakukan pengukuran ketebalan lem pada tiga titik pengamat-an, yaitu dari sisi kanan, kiri, dan tengah. Perbedaan hasil pengukuran menimbulkan adanya ambiguitas sehingga perlu dilakukan pengendalian kualitas dengan metode yang tepat yaitu peta kendali *fuzzy*. Peta kendali *fuzzy* merupakan penggabungan dari teori *fuzzy* dan peta kendali. Peta kendali *fuzzy* yang digunakan dalam penelitian adalah peta kendali *Fuzzy $\bar{X} - \bar{R}$* dan *Fuzzy Exponentially Weighted Moving Average* (FEWMA). Hasil analisis didapatkan peta kendali FEWMA lebih sensitif dalam mendeteksi pergeseran proses dibandingkan peta kendali *fuzzy $\bar{X} - \bar{R}$* . Pada peta kendali FEWMA didapatkan nilai pembobot optimum yaitu $\lambda = 0,1$ dan didapatkan hasil bahwa proses belum terkendali secara statistik.

Kata Kunci—FEWMA, *Fuzzy $\bar{X} - \bar{R}$* , Kapabilitas Proses, Ketebalan Lem, *Labelstock*.

I. PENDAHULUAN

PERKEMBANGAN industri barang dan jasa saat ini semakin pesat. Hal ini memicu para penggerak industri untuk terus menciptakan produk yang dapat bertahan lama di pasaran, sehingga perlu dilakukan pengendalian kualitas produksi. Suatu alat statistik yang digunakan dalam pengendalian kualitas produksi adalah peta kendali. Keutamaan peta kendali adalah kemampuannya dalam mendeteksi pergeseran proses dan menunjukkan kondisi abnormal pada proses produksi. Peta kendali yang paling banyak digunakan untuk mendeteksi pergeseran proses suatu produksi adalah peta kendali Shewhart, khususnya $\bar{X} - R$. Peta kendali ini tidak terlalu sensitif dalam mendeteksi pergeseran proses rata-rata ataupun varians, terutama ketika nilai pergeseran nya kecil [1]. Pada dunia industri, seringkali terjadi keraguan pada pengukuran. Hal ini memunculkan terjadinya *vagueness* atau ketidakpastian pengukuran. Metode yang sering digunakan pada data seperti ini adalah metode *fuzzy*. Dalam teori *fuzzy* memungkinkan penilaian bertahap dari keanggotaan elemen dalam him-punan yang

digambarkan dengan bantuan sebuah fungsi ke-anggotaan bernilai $[0,1]$ [2].

PT “XYZ” merupakan perusahaan yang bergerak di bidang pembuatan *labelstock*, *release liner* dan *adhesive tape*. Produk ini digunakan pada industri secara umum, produk *hygiene*, *food grade*, percetakan dan industri kemasan. Perusahaan ini mulai beroperasi pada tahun 1992. Pada saat itu perusahaan memulai dengan pemasangan mesin *coating* multiguna. Proses *coating* yang dilakukan pada perusahaan ini adalah mengaplikasikan lem basah yang diletakkan di *release paper* kemudian dilewatkan *dryer* agar lem kering kemudian dipertemukan dengan item tertentu. Proses tersebut diukur melalui 3 titik pengukuran, yaitu kiri, tengah dan kanan. Pengukuran ini terjadi saat proses *coating*. Oleh karena itu diperlukan adanya pengendalian kualitas pada ketebalan lem. Selama ini PT “XYZ” melakukan pengendalian kualitas ketebalan lem berdasarkan pada penghitungan dengan batas tertentu, dimana terdapat 3 level ketebalan lem pada *labelstock* yaitu S+1, S+2, dan S+3. Level S+1 merupakan ketebalan lem standar $\pm 7,5\%$, untuk level S+2 merupakan ketebalan lem standar $\pm 15\%$ dan level S+3 merupakan ketebalan lem standar $\pm > 15\%$. Apabila ketebalan lem berada pada level S+3 maka akan dilakukan *hold* pada *labelstock*.

Penelitian sebelumnya, dilakukan pengendalian kualitas produksi *labelstock* di PT “X” dengan metode diagram kontrol kernel didapatkan bahwa stabilitas proses produksi *labelstock* belum tercapai [3]. Selanjutnya penelitian lain mengenai *labelstock* juga telah dilakukan menggunakan peta kendali $\bar{X} - R$ untuk *monitoring* kualitas produksi *labelstock* jenis kertas HVS di PT “X”. Hasil dari penelitian tersebut adalah data ketebalan lem terkendali secara statistik, tetapi ketebalan lem tidak presisi dan memiliki akurasi yang kurang baik [4]. Pada pengukuran ketebalan lem *labelstock* jenis kertas HVS P 60 (HVS Putih 60 gram) di PT “XYZ” dilakukan pengamatan melalui tiga sisi (kanan, tengah, dan kiri), sehingga memungkinkan adanya *vagueness* atau ketidakpastian pengukuran. Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan pengendalian kualitas *labelstock* dengan peta kendali *fuzzy*. Peta kendali yang digunakan dalam penelitian ini adalah peta kendali *fuzzy $\bar{X} - \bar{R}$* dan *Fuzzy Exponentially Weighted Moving Average* (FEWMA). Kedua peta kendali tersebut dipilih karena dapat mendeteksi pergeseran proses pada data univariat. Untuk peta kendali FEWMA dipilih karena *robust* terhadap distribusi normal dan memberikan fleksibilitas pada batas kontrol untuk mencegah terjadinya *false alarm*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui

karakteristik ketebalan lem *labelstock* pada jenis kertas HVS P 60 (HVS Putih 60 gram) di PT “XYZ”. Selain itu juga untuk melihat metode peta kendali manakah yang sesuai dalam mendeteksi pergeseran proses pada ketebalan lem *labelstock*.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Statistika Deskriptif

Statistika deskriptif merupakan metode yang memberikan informasi yang berkaitan dengan pengumpulan dan penyajian data. Statistika deskriptif terbagi menjadi 2, yaitu ukuran pemusatan data dan ukuran penyebaran data. Ukuran pemusatan data berupa nilai maksimum, minimum, rata-rata, median, dan modus. Ukuran penyebaran data berupa standar deviasi, jangkauan kuartil, dan jangkauan persentil [5].

B. Asumsi Distribusi Normal

Asumsi distribusi normal yang banyak digunakan adalah uji *Kolmogorov Smirnov*. Uji ini memiliki kelebihan yaitu sederhana dan tidak menimbulkan perbedaan persepsi di antara satu pengamat dengan pengamat yang lain, yang sering terjadi pada uji normalitas dengan menggunakan grafik [6]. Berikut merupakan hipotesis untuk uji normal *Kolmogorov Smirnov*.

Hipotesis :

H₀ : F₀(x) = F(x) untuk semua nilai (data berdistribusi normal).

H₁ : F₀(x) ≠ F(x) untuk minimal satu x (data tidak berdistribusi normal).

Statistik uji :

$$D = \sup|F_n(x) - F_0(x)| \tag{1}$$

Daerah Kritis:

Tolak H₀ jika |D| > D_(1-α, n) atau p-value < α.

Keterangan:

F_n(x) : Fungsi peluang kumulatif data sampel.

F₀(x) : Fungsi distribusi kumulatif normal.

D : Supremum semua x dari nilai |F_n(x) - F₀(x)|.

C. Logika Fuzzy

Teori *fuzzy* digunakan untuk merepresentasikan masalah yang mengandung *ambiguity* atau *vagueness* [7]. Teori himpunan *fuzzy* merupakan perluasan dari teori himpunan klasik (*crisp*). Jika pada himpunan klasik, nilai keanggotaan hanya 2 yaitu 0 dan 1, maka *fuzzy* memiliki nilai keanggotaan pada rentang 0 sampai 1. Pada teori himpunan *fuzzy*, komponen utama yang sangat berpengaruh adalah fungsi keanggotaan atau *fuzzy membership*. Terdapat beberapa fungsi keanggotaan *fuzzy*, yaitu sebagai berikut,

- a. Representasi linier
- b. Representasi kurva segitiga/ triangular
- c. Representasi kurva trapezium/trapezoidal
- d. Representasi kurva-S
- e. Representasi kurva bentuk lonceng
- f. Representasi kurva bentuk bahu

D. Peta Kendali $\tilde{X} - \tilde{R}$

Pada metode pendekatan tradisional, peta kendali yang sering digunakan dalam mendeteksi pergeseran rata-rata proses adalah peta kendali \bar{X} , sedangkan untuk mendeteksi variansi proses digunakan peta kendali jarak atau *range* yang

disebut peta kendali *R* [8]. Peta kendali $\bar{X} - R$ digunakan untuk mendeteksi pergeseran proses untuk data *crisp*, sedangkan untuk data yang mengandung *vagueness* atau ketidakpastian digunakan metode *fuzzy* $\tilde{X} - \tilde{R}$. Pada kasus *fuzzy*, setiap sampel atau subgroup, merupakan representasi dari *fuzzy* triangular (*a, b, c*). Fungsi keanggotaan *fuzzy* triangular direpresentasikan sebagai (*X_a, X_b, X_c*) untuk setiap observasi *fuzzy*. Untuk peta kendali *fuzzy* \tilde{R} dapat dihitung dengan persamaan (2) berikut,

$$\begin{aligned} \widetilde{LCL}_R &= D_3 \bar{R}_r = D_3(\bar{R}_a, \bar{R}_b, \bar{R}_c) \\ \widetilde{CL}_R &= \bar{R}_r = \frac{\sum_{t=1}^m X_{rt}}{m} = (\bar{R}_a, \bar{R}_b, \bar{R}_c) \\ \widetilde{UCL}_R &= D_4 \bar{R}_r = D_4(\bar{R}_a, \bar{R}_b, \bar{R}_c) \end{aligned} \tag{2}$$

dimana *D₃* dan *D₄* merupakan konstanta dapat dilihat dalam tabel berbagai nilai *m* [1].

Keterangan:

\bar{R} : Rata rata *R_t*, *t* = 1, 2, ..., *m*,

R_t : *Range* untuk tiap subgroup,

$\tilde{\lambda}$: *Fuzzy*,

\widetilde{LCL}_R : *Lower Control Limit* peta kendali *fuzzy* \tilde{R} ,

\widetilde{UCL}_R : *Upper Control Limit* peta kendali *fuzzy* \tilde{R} .

Pada grafik kendali *fuzzy* \tilde{R} , *range* subgroup ke-*t* dapat dituliskan pada Persamaan (3).

$$\bar{R}_{rt} = \frac{\sum_{t=1}^m R_{rt}}{m}; r = a, b, c \tag{3}$$

Ketika \bar{R}_a, \bar{R}_b , dan \bar{R}_c merupakan rata-rata urutan dari nilai kemungkinan terkecil, paling mungkin, dan kemungkinan terbesar, *R_{at}, R_{bt}, R_{ct}* dapat dihitung dengan persamaan (4) [8].

$$\begin{aligned} R_{at} &= X_{max, a_t} - X_{min, c_t} \\ R_{bt} &= X_{max, b_t} - X_{min, b_t} \\ R_{ct} &= X_{max, c_t} - X_{min, a_t} \end{aligned} \tag{4}$$

Dengan *t* = 1, 2, ..., *m*. Selanjutnya batas kendali peta kendali *fuzzy* \tilde{X} dinyatakan dalam persamaan (5).

$$\begin{aligned} \widetilde{UCL}_{\tilde{X}} &= (\bar{X}_a, \bar{X}_b, \bar{X}_c) + A_2(\bar{R}_a, \bar{R}_b, \bar{R}_c) \\ \widetilde{CL}_{\tilde{X}} &= (\bar{X}_a, \bar{X}_b, \bar{X}_c) \\ \widetilde{LCL}_{\tilde{X}} &= (\bar{X}_a, \bar{X}_b, \bar{X}_c) - A_2(\bar{R}_a, \bar{R}_b, \bar{R}_c) \end{aligned} \tag{5}$$

dimana *A₂* konstanta statistik sebagaimana *D₃* dan *D₄*.

Keterangan:

\bar{X} : Nilai rata-rata keseluruhan sampel.

$\widetilde{LCL}_{\tilde{X}}$: *Lower control limit* peta kendali *fuzzy* \tilde{X} .

$\widetilde{UCL}_{\tilde{X}}$: *Upper control limit* peta kendali *fuzzy* \tilde{X} .

Pada penelitian dilakukan pengukuran peta kendali dengan *α-cuts*. *α-cuts* adalah himpunan *fuzzy* yang mencakup elemen-elemen yang derajat keanggotaannya lebih besar daripada *α*. Selanjutnya digunakan *α-cuts fuzzy* $\tilde{X} - \tilde{R}$ berdasarkan *range* untuk menentukan batas-batas yang telah ditentukan perusahaan dapat dituliskan dalam persamaan (6) dan (7) [8].

$$\begin{aligned} \bar{R}_a^{-\alpha-cuts} &= \bar{R}_a + \alpha - cuts(\bar{R}_b - \bar{R}_a) \\ \bar{R}_c^{-\alpha-cuts} &= \bar{R}_a - \alpha - cuts(\bar{R}_c - \bar{R}_b) \end{aligned} \tag{6}$$

dengan,

$$\begin{aligned} \bar{X}_a^{\alpha-cuts} &= \bar{X}_a + \alpha - cuts(\bar{X}_b - \bar{X}_a) \\ \bar{X}_c^{\alpha-cuts} &= \bar{X}_c - \alpha - cuts(\bar{X}_c - \bar{X}_a) \end{aligned} \quad (7)$$

sehingga batas kendali untuk fuzzy \tilde{R} dengan α -cuts adalah sebagai berikut,

$$\begin{aligned} \widetilde{LCL}_R^{\alpha-cuts} &= D_3 \bar{R}_r^{\alpha-cuts} = D_3 (\bar{R}_a^{\alpha-cuts}, \bar{R}_b, \bar{R}_c^{\alpha-cuts}) \\ \widetilde{CL}_R^{\alpha-cuts} &= \bar{R}_r = \frac{\sum_{t=1}^m X_{rt}}{m} = (\bar{R}_a^{\alpha-cuts}, \bar{R}_b, \bar{R}_c^{\alpha-cuts}) \\ \widetilde{UCL}_R^{\alpha-cuts} &= D_4 \bar{R}_r^{\alpha-cuts} = D_4 (\bar{R}_a^{\alpha-cuts}, \bar{R}_b, \bar{R}_c^{\alpha-cuts}) \end{aligned} \quad (8)$$

Sedangkan untuk batas kendali fuzzy \tilde{X} dengan α -cuts dirumuskan dalam persamaan (9).

$$\begin{aligned} \widetilde{LCL}_{\tilde{X}}^{\alpha-cuts} &= (\bar{X}_a^{\alpha-cuts}, \bar{X}_b, \bar{X}_c^{\alpha-cuts}) - \\ &A_2 (\bar{R}_a^{\alpha-cuts}, \bar{R}_b, \bar{R}_c^{\alpha-cuts}) \\ \widetilde{CL}_{\tilde{X}}^{\alpha-cuts} &= (\bar{X}_a^{\alpha-cuts}, \bar{X}_b, \bar{X}_c^{\alpha-cuts}) \\ \widetilde{UCL}_{\tilde{X}}^{\alpha-cuts} &= (\bar{X}_a^{\alpha-cuts}, \bar{X}_b, \bar{X}_c^{\alpha-cuts}) + \\ &A_2 (\bar{R}_a^{\alpha-cuts}, \bar{R}_b, \bar{R}_c^{\alpha-cuts}) \end{aligned} \quad (9)$$

Keterangan:

$\bar{X}_r^{\alpha-cuts}$: Nilai rata-rata pengamatan pada sisi r dengan pendekatan α -cuts,

$\bar{R}_r^{\alpha-cuts}$: Range pengamatan pada sisi r dengan pendekatan α -cuts,

$\widetilde{LCL}_{\tilde{X}}^{\alpha-cuts}$: Lower control limit peta kendali fuzzy \tilde{X} dengan pendekatan α -cuts,

$\widetilde{UCL}_{\tilde{X}}^{\alpha-cuts}$: Upper control limit peta kendali fuzzy \tilde{X} dengan pendekatan α -cuts.

Dalam teori fuzzy, terdapat teknik transformasi fuzzy yang berguna dalam mentransformasi fuzzy number ke dalam data crisp (tegas). Terdapat empat transformasi fuzzy yaitu fuzzy mode, α -level fuzzy midrange, fuzzy median, dan fuzzy average [9]. Pada penelitian ini dilakukan analisis transformasi fuzzy dengan α -level fuzzy midrange. Untuk menghitung control limit dengan transformasi α -level fuzzy midrange untuk peta kendali fuzzy \tilde{R} didapatkan melalui persamaan (10) [8].

$$\begin{aligned} LCL_{mr-R}^{\alpha-cuts} &= D_3 \left(\frac{\bar{R}_a^{\alpha-cuts} + \bar{R}_c^{\alpha-cuts}}{2} \right) \\ CL_{mr-R}^{\alpha-cuts} &= \frac{\bar{R}_a^{\alpha-cuts} + \bar{R}_c^{\alpha-cuts}}{2} \\ UCL_{mr-R}^{\alpha-cuts} &= D_4 \left(\frac{\bar{R}_a^{\alpha-cuts} + \bar{R}_c^{\alpha-cuts}}{2} \right) \end{aligned} \quad (10)$$

Kemudian definisi dari α -level fuzzy midrange dari sampel t dapat ditulis dalam persamaan (11) berikut:

$$S_{mr-R,t}^{\alpha-cuts} = \frac{(R_{at} + R_{ct}) + \alpha - cuts[(R_{bt} - R_{at}) - (R_{ct} - R_{bt})]}{2} \quad (11)$$

Keterangan:

$S_{mr-R,t}^{\alpha-cuts}$: Nilai statistik transformasi α -level fuzzy midrange peta kendali fuzzy \tilde{R} dengan pendekatan α -cuts

untuk pengamatan ke- t .

sehingga, proses kendali dapat didefinisikan sebagai berikut,

$$\text{process control} = \begin{cases} LCL_{mr-R}^{\alpha-cuts} \leq S_{mr-R,t}^{\alpha-cuts} \leq UCL_{mr-R}^{\alpha-cuts} \\ \text{out of control, for otherwise.} \end{cases}$$

Transformasi α -level fuzzy midrange untuk α -cuts peta kendali fuzzy \tilde{X} didapatkan melalui persamaan (12).

$$\begin{aligned} LCL_{mr-\tilde{X}}^{\alpha-cuts} &= CL_{mr-\tilde{X}}^{\alpha-cuts} - A_2 \left(\frac{\bar{R}_a^{\alpha-cuts} + \bar{R}_c^{\alpha-cuts}}{2} \right) \\ CL_{mr-\tilde{X}}^{\alpha-cuts} &= \frac{\bar{X}_a^{\alpha-cuts} + \bar{X}_c^{\alpha-cuts}}{2} \\ UCL_{mr-\tilde{X}}^{\alpha-cuts} &= CL_{mr-\tilde{X}}^{\alpha-cuts} + A_2 \left(\frac{\bar{R}_a^{\alpha-cuts} + \bar{R}_c^{\alpha-cuts}}{2} \right) \end{aligned} \quad (12)$$

kemudian α -level fuzzy midrange fuzzy \tilde{X} pada subgroup ke- t dapat didefinisikan sebagai berikut

$$S_{mr-\tilde{X},t}^{\alpha-cuts} = \frac{(\bar{X}_{at} + \bar{X}_{ct}) + \alpha - cuts[(\bar{X}_{bt} - \bar{X}_{at}) - (\bar{X}_{ct} - \bar{X}_{bt})]}{2} \quad (13)$$

sehingga kondisi proses kendali untuk setiap subgroup dapat didefinisikan sebagai berikut,

$$\text{process control} = \begin{cases} LCL_{mr-\tilde{X}}^{\alpha-cuts} \leq S_{mr-\tilde{X},t}^{\alpha-cuts} \leq UCL_{mr-\tilde{X}}^{\alpha-cuts} \\ \text{out of control, for otherwise.} \end{cases}$$

E. Peta Kendali Fuzzy Exponentially Weighted Moving Average (FEWMA)

Hunter mengenalkan peta kendali Exponentially Weighted Moving Average (EWMA) tradisional untuk pertama kali [10]. Peta kendali EWMA lebih disukai karena sensitif untuk mendeteksi pergeseran proses yang kecil. Peta kendali EWMA tradisional digunakan untuk mendeteksi pergeseran proses hanya pada data *crisp*, apabila terjadi *ambiguity* pada data pengamatan, maka digunakan peta kendali Fuzzy Exponentially Weighted Moving Average (FEWMA) [11].

Dalam membentuk peta kendali FEWMA, terdapat dua penghitungan batas kendali peta kendali FEWMA yaitu peta kendali FEWMA ketika $(\sigma_a, \sigma_b, \sigma_c)$ diketahui dan peta kendali FEWMA ketika $(\sigma_a, \sigma_b, \sigma_c)$ tidak diketahui. Pada penelitian ini dilakukan penghitungan peta kendali FEWMA ketika $(\sigma_a, \sigma_b, \sigma_c)$ tidak diketahui.

Ketika \bar{R}_a, \bar{R}_b , dan \bar{R}_c merupakan rata-rata urutan dari nilai kemungkinan terkecil, nilai yang paling mungkin, dan nilai kemungkinan terbesar. (R_{a1}, R_{b1}, R_{c1}) dan $(\bar{R}_a, \bar{R}_b, \bar{R}_c)$ dapat dihitung sebagaimana peta kendali $\tilde{X} - \tilde{R}$ [8]. Peta kendali FEWMA dengan $(\sigma_a, \sigma_b, \sigma_c)$ diketahui yaitu dirumuskan sebagai berikut,

$$\begin{aligned} \widetilde{UCL}_{EWMA} &= (\bar{X}_a, \bar{X}_b, \bar{X}_c) + A_2 (\bar{R}_a, \bar{R}_b, \bar{R}_c) \sqrt{\frac{\lambda}{(2-\lambda)}} \\ \widetilde{CL}_{EWMA} &= (\bar{X}_a, \bar{X}_b, \bar{X}_c) \\ \widetilde{LCL}_{EWMA} &= (\bar{X}_a, \bar{X}_b, \bar{X}_c) - A_2 (\bar{R}_a, \bar{R}_b, \bar{R}_c) \sqrt{\frac{\lambda}{(2-\lambda)}} \end{aligned} \quad (14)$$

Keterangan:

λ : Parameter pembobot, dimana $0 < \lambda \leq 1$ konstan.

Peta kendali fuzzy EWMA dengan α -cuts ketika $(\sigma_a, \sigma_b, \sigma_c)$ tidak diketahui dirumuskan sebagai berikut

$$\begin{aligned} \widetilde{UCL}_{EWMA}^{\alpha-cuts} &= \bar{X}_r^{\alpha-cuts} + A_2 \bar{R}_r^{\alpha-cuts} \sqrt{\frac{\lambda}{(2-\lambda)}} \\ \widetilde{CL}_{EWMA}^{\alpha-cuts} &= (\bar{X}_a^{\alpha-cuts}, \bar{X}_b, \bar{X}_c^{\alpha-cuts}) \\ \widetilde{LCL}_{EWMA}^{\alpha-cuts} &= \bar{X}_r^{\alpha-cuts} - A_2 \bar{R}_r^{\alpha-cuts} \sqrt{\frac{\lambda}{(2-\lambda)}} \end{aligned} \quad (15)$$

dimana $\bar{R}_r^{\alpha-cuts} = \bar{R}_a^{\alpha-cuts}, \bar{R}_b, \bar{R}_c^{\alpha-cuts}$.

Teknik transformasi α -level fuzzy midrange untuk peta kendali FEWMA dengan α -cuts ketika $(\sigma_a, \sigma_b, \sigma_c)$ tidak diketahui, dirumuskan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \widetilde{UCL}_{mr-EWMA}^{\alpha-cuts} &= \widetilde{CL}_{mr-EWMA}^{\alpha-cuts} + \frac{1}{3} A_2 \sum_{r=1}^3 \bar{R}_r^{\alpha-cuts} \sqrt{\frac{\lambda}{(2-\lambda)}}, \\ \widetilde{CL}_{mr-EWMA}^{\alpha-cuts} &= \frac{1}{3} (\bar{X}_a^{\alpha-cuts} + \bar{X}_b + \bar{X}_c^{\alpha-cuts}) \\ \widetilde{LCL}_{mr-EWMA}^{\alpha-cuts} &= \widetilde{CL}_{mr-EWMA}^{\alpha-cuts} - \frac{1}{3} A_2 \sum_{r=1}^3 \bar{R}_r^{\alpha-cuts} \sqrt{\frac{\lambda}{(2-\lambda)}} \end{aligned} \quad (16)$$

Untuk subgrup t , nilai α -level fuzzy midrange $(S_{mr-EWMA,t}^{\alpha-cuts})$ dirumuskan sebagai berikut.

$$S_{mr-EWMA,t}^{\alpha-cuts} = \frac{1}{3} (\bar{X}_{a,t}^{\alpha-cuts} + \bar{X}_{b,t} + \bar{X}_{c,t}^{\alpha-cuts}) \quad (17)$$

Kendali proses untuk setiap sampel didefinisikan sebagai berikut.

$$\text{process} = \begin{cases} \text{LCL}_{mr-EWMA}^{\alpha-cuts} \leq S_{mr-EWMA,t}^{\alpha-cuts} \leq \text{UCL}_{mr-EWMA}^{\alpha-cuts} \\ \text{Out of control, for otherwise.} \end{cases}$$

F. Diagram Ishikawa

Diagram *ishikawa* (*cause and effect matrix* atau diagram tulang ikan) merupakan diagram yang menunjukkan penyebab-penyebab dari sebuah even yang spesifik. Diagram ini mengidentifikasi faktor-faktor yang signifikan memberi efek sebuah kejadian. Penyebab terjadinya masalah sering diakibatkan oleh lima elemen yaitu *man, method, machine, material*, dan *environment* [1].

G. Analisis Kapabilitas Proses

Analisis kapabilitas yang digunakan adalah indeks C_p dan C_{pk} . Nilai C_p mengindikasikan seberapa baik proses sesuai dengan kedua batas spesifikasi. C_p memfokuskan pada proses yang dipelajari dan tidak memperhitungkan pemusatan proses sehingga tidak memberikan indikasi kinerja yang sebenarnya. C_{pk} digunakan untuk mengindikasi variabilitas suatu proses. C_{pk} mendeskripsikan seberapa baik suatu proses sesuai dengan batas spesifikasi dengan mempertimbangkan rata-rata proses [12].

Pada metode *fuzzy*, batas atas dan batas bawahnya merupakan *Triangular Fuzzy Number* (TFN) dengan $\widetilde{USL} = \text{TFN}(u_1, u_2, u_3)$ dan $\widetilde{LSL} = \text{TFN}(l_1, l_2, l_3)$. Nilai α -cuts untuk batas spesifikasi dihitung dengan persamaan (18) [13],

$$\begin{aligned} \widetilde{USL}^{\alpha-cuts} &= (u_2 - u_1)(\alpha - cuts) + \\ &\quad u_1(u_2 - u_3)(\alpha - cuts) + u_3 \\ \widetilde{LSL}^{\alpha-cuts} &= (l_2 - l_1)(\alpha - cuts) + \\ &\quad l_1(l_2 - l_3)(\alpha - cuts) + l_3 \end{aligned} \quad (18)$$

Nilai rata-rata proses *fuzzy* ($\tilde{\mu}$) dan deviasi standar *fuzzy* ($\tilde{\sigma}$) dapat dihitung dengan persamaan (19) berikut.

$$\begin{aligned} \tilde{\mu} &= \tilde{\bar{X}} = \text{TFN}(\bar{X}_a, \bar{X}_b, \bar{X}_c) \\ \tilde{\sigma} &= \frac{\bar{R}_r}{d_2} = \left(\frac{\bar{R}_a}{d_2}, \frac{\bar{R}_b}{d_2}, \frac{\bar{R}_c}{d_2} \right) \end{aligned} \quad (19)$$

dimana,

$$\begin{aligned} \hat{\sigma}_a^{\alpha-cuts} &= \hat{\sigma}_a + \alpha - cuts(\hat{\sigma}_b - \hat{\sigma}_a) \\ \hat{\sigma}_c^{\alpha-cuts} &= \hat{\sigma}_c - \alpha - cuts(\hat{\sigma}_c - \hat{\sigma}_a) \end{aligned} \quad (20)$$

Maka indeks kapabilitas *fuzzy* dapat dihitung dengan persamaan (21) berikut,

$$\tilde{C}_p^{\alpha-cuts} = \frac{\widetilde{USL}^{\alpha-cuts} - \widetilde{LSL}^{\alpha-cuts}}{6\tilde{\sigma}^{\alpha-cuts}} \quad (21)$$

Kemudian untuk indeks kapabilitas *fuzzy* C_{pk} dapat dihitung dengan persamaan (22).

$$\begin{aligned} \tilde{C}_{pl}^{\alpha-cuts} &= \text{TFN} \left(\frac{\bar{X}_a^{\alpha-cuts} - \widetilde{LSL}_c^{\alpha-cuts}}{3\sigma_c^{\alpha-cuts}}, \frac{\bar{X}_c^{\alpha-cuts} - \widetilde{LSL}_a^{\alpha-cuts}}{3\sigma_a^{\alpha-cuts}} \right) \\ \tilde{C}_{pu}^{\alpha-cuts} &= \text{TFN} \left(\frac{\widetilde{USL}_a^{\alpha-cuts} - \bar{X}_c^{\alpha-cuts}}{3\sigma_c^{\alpha-cuts}}, \frac{\widetilde{USL}_c^{\alpha-cuts} - \bar{X}_a^{\alpha-cuts}}{3\sigma_a^{\alpha-cuts}} \right) \\ \tilde{C}_{pk}^{\alpha-cuts} &= \text{Min}\{\tilde{C}_{pl}^{\alpha-cuts}, \tilde{C}_{pu}^{\alpha-cuts}\} \end{aligned} \quad (22)$$

Keterangan:

USL : *Upper Specification Limit*,
LSL : *Lower Specification Limit*,
 C_{pl} : *Capability Process Lower*,
 C_{pu} : *Capability Process Upper*.

H. Proses Produksi Labelstock

Proses Pembuatan *labelstock* terdiri dari empat proses produksi, yaitu proses *coating, slitting, sheeting*, dan *packing*. Proses *coating* merupakan proses pelapisan lem pada kertas untuk membentuk *labelstock*. *Slitting* merupakan pemotongan gulungan *labelstock* sesuai pesanan. *Sheeting* merupakan proses dimana *labelstock* berupa lembaran-lembaran yang siap dikemas. *Packing* merupakan proses pengemasan.

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Sumber Data

Pada penelitian ini digunakan data sekunder ketebalan lem untuk jenis kertas HVS P 60 (HVS Putih 60 gram) di PT “XYZ”. Data yang digunakan merupakan data ketebalan lem *labelstock* pada bulan Juni 2019 sampai Januari 2020 yang diambil melalui pengukuran tiga sisi yaitu sisi kanan, tengah, dan kiri.

B. Variabel Penelitian

Variabel penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah ketebalan lem *labelstock* untuk jenis kertas HVS P 60. Karakteristik pengukuran ketebalan lem ditampilkan dalam Tabel 1.

C. Langkah Analisis

Langkah-langkah analisis pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengumpulkan data
2. Melakukan analisis statistika deskriptif pada data
3. Membuat peta kendali *fuzzy* $\tilde{\bar{X}} - \tilde{R}$
 - a. Pengamatan pada sisi yang berbeda diurutkan dari yang terkecil.
 - b. Menghitung nilai rata-rata dan *range* tiap subgrup.
 - c. Menghitung nilai rata-rata pengamatan dan *range* semua subgrup.

Tabel 1.
Karakteristik tebal lem

No.	\bar{X}	Keterangan	Satuan
1	X_a	Ketebalan lem sisi kiri	gram/square meter (gsm)
2	X_b	Ketebalan lem sisi tengah	gram/square meter (gsm)
3	X_c	Ketebalan lem sisi kanan	gram/square meter (gsm)

Tabel 2.
Karakteristik tebal lem *labelstock*

Tebal Lem	Rata-rata	Var	Min	Maks	LSL	USL
Sisi Kiri	19,45	2,17	15	25		
Sisi Tengah	19,22	2,09	15	23	18	20
Sisi Kanan	19,61	1,90	16	23		

Tabel 3.
Uji asumsi normalitas

No.	Sisi Ketebalan Lem	$ D $	$P - value$
1	Kiri	0,14105	2,5446e-7
2	Tengah	0,14907	3,9754e-8
3	Kanan	0,14811	4,9968e-8

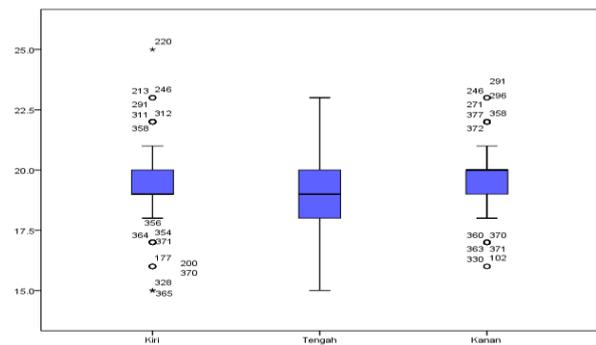
- d. Menghitung batas kendali di tiap sisi pengamatan.
- e. Menghitung batas kendali terhadap nilai $\alpha - cuts$.
- f. Melakukan transformasi *fuzzy α -cuts*.
- g. Membuat peta kendali *fuzzy $\bar{X} - \bar{R}$* .
4. Membuat peta kendali *Fuzzy Exponentially Weighted Moving Average (FEWMA)*.
 - a. Pengamatan pada sisi yang berbeda diurutkan dari yang terkecil.
 - b. Menghitung nilai rata-rata dan *range* tiap subgrup.
 - c. Menghitung batas kendali di tiap sisi pengamatan.
 - d. Menghitung batas kendali terhadap nilai α -cuts.
 - e. Melakukan transformasi *fuzzy α -cuts*.
 - f. Membuat peta kendali FEWMA.
5. Membandingkan peta kendali *fuzzy $\bar{X} - \bar{R}$* dan FEWMA.
6. Melakukan identifikasi penyebab *out of control*.
7. Menganalisis proses kapabilitas berbasis *fuzzy α -cuts*.
 - a. Membentuk batas spesifikasi ke dalam bentuk TFN.
 - b. Menghitung indeks kapabilitas proses.
8. Menarik kesimpulan dan saran.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Karakteristik Kualitas Labelstock HVS P 60

Karakteristik dari kualitas *labelstock* HVS P 60 yang disajikan yaitu rata-rata, nilai minimum dan maksimum serta varians. Jumlah data yang digunakan adalah 395 data yang diukur melalui tiga sisi pengamatan, yaitu kiri, tengah dan kanan. Berikut merupakan hasil statistika deskriptif dari variabel ketebalan lem *labelstock*.

Tabel 2 menunjukkan bahwa rata-rata, varians, minimum dan maksimum dari masing-masing sisi pengamatan memiliki nilai yang berbeda-beda. Tebal lem sisi kiri memiliki nilai varians terbesar yaitu 2,17 dimana menunjukkan persebaran nilai hasil pengukuran terhadap rata-rata. Berdasarkan Tabel 2, masih terdapat pengamatan yang berada di luar nilai USL (*Upper Specification Limit*) dan LSL (*Lower Specification Limit*). Berdasarkan hasil penghitungan statistika deskriptif pada ketiga sisi pengamatan, dapat diketahui bahwa terdapat indikasi



Gambar 1. *Boxplot* tebal lem *labelstock*.

ketidakpastian pengukuran pada data. Untuk mengetahui persebaran datanya, dapat dilihat melalui Gambar 1.

Gambar 1 menunjukkan terdapat perbedaan persebaran data dari tiap sisi pengamatan. Pada *boxplot* sisi kiri menunjukkan banyak *outlier* yaitu sebanyak 16 titik data. *Outlier* terjauh ditunjukkan pada data ke-326 dan ke-328. Untuk pengamatan tebal lem *labelstock* sisi kanan didapatkan terdapat 16 data *outlier*.

B. Pengujian Asumsi Normal

Pada penelitian ini dilakukan pengujian asumsi normalitas *Kolmogorov Smirnov* dari masing-masing sisi pengamatan tebal lem *labelstock* dengan taraf signifikan yang digunakan adalah 5%. Pada pengujian normalitas ini diketahui $D_{(0,95;395)}$ adalah 0,06833. Data dikatakan berdistribusi normal apabila $|D| < D_{(1-\alpha; n)}$ atau nilai *p-value* melebihi batas signifikansi yang ditentukan. Untuk mengetahui hal tersebut, ditampilkan tabel asumsi normalitas berikut.

Berdasarkan Tabel 3 dapat diketahui bahwa nilai $|D|$ dari pengukuran tebal lem sisi kiri, tengah dan kanan memiliki nilai yang lebih besar daripada nilai $D_{(0,95;395)}$. Hal ini berarti bahwa keputusan yang didapat adalah tolak H_0 sehingga data pengamatan dari ketiga sisi pengukuran tebal lem tidak berdistribusi normal. Selain nilai $|D|$, uji normalitas data juga dapat dilihat melalui nilai *p-value*. Nilai *p-value* dari ketiga sisi pengamatan menunjukkan nilai kurang dari taraf signifikan (0,05) sehingga keputusan yang dihasilkan sama dengan pengujian melalui nilai statistik $|D|$ yaitu data tidak berdistribusi normal.

C. Monitoring Kualitas Labelstock dengan Peta Kendali *Fuzzy $\bar{X} - \bar{R}$*

Pada penelitian ini dilakukan analisis dengan peta kendali *fuzzy $\bar{X} - \bar{R}$* untuk *monitoring* pergeseran proses pada pengamatan ketebalan lem *labelstock* dari sisi kanan, tengah, dan kiri untuk jenis kertas HVS P 60. Peta kendali ini digunakan karena data penelitian mengandung *vagueness* atau ketidakpastian dalam pengukuran.

Pada pembentukan peta kendali *fuzzy $\bar{X} - \bar{R}$* , sebelumnya dilakukan pembentukan subgrup pengamatan. Pada analisis data ketebalan lem, subgrup dibentuk berdasarkan pergantian ketebalan *release*, dimana terjadi pengaturan ulang mesin sehingga memungkinkan terjadinya pergeseran ketebalan lem. Pada pembentukan subgrup didapatkan bahwa jumlah sampel tiap subgrup berbeda sehingga dilakukan perhitungan nilai rata-rata sampel tiap subgrup untuk menghitung nilai

Tabel 4.

Transformasi *control limit* peta kendali fuzzy \tilde{R}

$\alpha - cuts$	$\widetilde{LCL}_{mr-R}^{\alpha-cuts}$	$\widetilde{CL}_{mr-R}^{\alpha-cuts}$	$\widetilde{UCL}_{mr-R}^{\alpha-cuts}$
0,60	0,000	2,054	4,687
0,65	0,000	2,039	4,653
0,70	0,000	2,024	4,618

Tabel 5.

Nilai statistik transformasi peta kendali fuzzy \tilde{R}

Subgrup	$S_{mr-R,t}^{0,60}$	$S_{mr-R,t}^{0,65}$	$S_{mr-R,t}^{0,70}$
1	3,9	3,975	4,05
2	1	1	1
3	5,1	5,15	5,2
4	1,5	1,5	1,5
5	4,3	4,45	4,6
6	4	4	4
⋮	⋮	⋮	⋮
87	3,1	3,1	3,2
88	0,7	0,7	0,65
89	1,7	1,7	1,65

Tabel 6.

Transformasi *control limit* peta kendali fuzzy \tilde{X}

$\alpha - cuts$	$\widetilde{LCL}_{mr-\tilde{X}}^{\alpha-cuts}$	$\widetilde{CL}_{mr-\tilde{X}}^{\alpha-cuts}$	$\widetilde{UCL}_{mr-\tilde{X}}^{\alpha-cuts}$
0,60	17,935	19,432	20,928
0,65	17,951	19,437	20,922
0,70	17,967	19,441	20,916

control limit. Dengan rata-rata sampel n adalah 4, didapatkan nilai *control limit* untuk peta kendali fuzzy \tilde{R} adalah sebagai berikut,

$$\begin{aligned} \widetilde{LCL}_R &= (\widetilde{LCL}_{R_a} / \widetilde{LCL}_{R_b} / \widetilde{LCL}_{R_c}) = (0,000 / 0,000 / 0,000), \\ \widetilde{CL}_R &= (\widetilde{CL}_{R_a} / \widetilde{CL}_{R_b} / \widetilde{CL}_{R_c}) = (0,955 / 1,932 / 3,517), \\ \widetilde{UCL}_R &= (\widetilde{UCL}_{R_a} / \widetilde{UCL}_{R_b} / \widetilde{UCL}_{R_c}) = (2,179 / 4,410 / 8,026). \end{aligned}$$

Pada kaitannya dengan keketatan pemeriksaan *control limit*, maka dalam penelitian ini digunakan nilai $\alpha - cuts$ sebesar 0,60; 0,65; dan 0,70. Hasil perhitungannya dilakukan transformasi $\alpha - level$ fuzzy *midrange* untuk mendapatkan satu nilai *control limit*. Hasil transformasi *control limit* tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.

Selanjutnya dilakukan perhitungan nilai statistik $S_{mr-R,t}^{\alpha-cuts}$ untuk membentuk titik titik plot pada peta kendali fuzzy \tilde{R} . Tabel 5 merupakan nilai statistik pada peta kendali fuzzy \tilde{R} untuk pengamatan ke- t .

Setelah didapatkan peta kendali fuzzy \tilde{R} , kemudian dilakukan perhitungan peta kendali fuzzy \tilde{X} . Dengan langkah perhitungan yang sama, hasil transformasi *control limit* dan nilai statistik untuk peta kendali fuzzy \tilde{X} dapat dilihat pada Tabel 6 dan Tabel 7. Berdasarkan hasil perhitungan tersebut didapatkan peta kendali fuzzy $\tilde{X} - \tilde{R}$ yang dapat dilihat pada Gambar 2.

Gambar 2. (a) merupakan peta kendali fuzzy $\tilde{X} - \tilde{R}$ untuk $\alpha - cuts = 0,60$. Berdasarkan pada gambar peta kendali fuzzy \tilde{R} diketahui bahwa terdapat 9 pengamatan yang berada di luar *control limit* atau dapat dikatakan *out of control*, sedangkan pada peta kendali fuzzy \tilde{X} didapatkan sejumlah 7 pengamatan yang *out of control*. Hal ini berarti bahwa data tebal lem *labelstock* untuk jenis kertas HVS P 60 di PT “XYZ” belum terkendali secara statistik. Begitupun dengan perhitungan peta kendali fuzzy $\tilde{X} - \tilde{R}$ untuk $\alpha - cuts = 0,65$

Tabel 7.

Nilai statistik transformasi peta kendali fuzzy \tilde{X}

Subgrup	$S_{mr-\tilde{X},t}^{0,60}$	$S_{mr-\tilde{X},t}^{0,65}$	$S_{mr-\tilde{X},t}^{0,70}$
1	19,488	19,512	19,536
2	19,272	19,278	19,284
3	19,867	19,876	19,886
4	20,433	20,442	20,450
5	20,516	20,534	20,552
6	20,100	20,108	20,117
⋮	⋮	⋮	⋮
87	19,731	19,731	19,759
88	19,500	19,500	19,500
89	20,225	20,225	20,263

Tabel 8.

Perbandingan peta kendali FEWMA berdasarkan nilai λ

λ	Banyaknya OOC		
	0,60	0,65	0,70
0,1	65	66	67
0,2	58	59	57
0,3	45	44	45
0,4	40	40	41
0,5	34	34	36
0,6	30	30	30
0,7	27	28	27
0,8	20	21	21
0,9	11	13	14

dan 0,70 yang ditunjukkan pada Gambar 2. (b)-(c) didapatkan bahwa terdapat 7 pengamatan *out of control* pada peta kendali fuzzy \tilde{X} dan 9 OOC pada peta kendali $\alpha - cuts$ fuzzy \tilde{R} , sehingga pengamatan belum terkendali secara statistik.

D. Monitoring Kualitas dengan Peta Kendali Fuzzy Exponentially Weighted Moving Average (FEWMA)

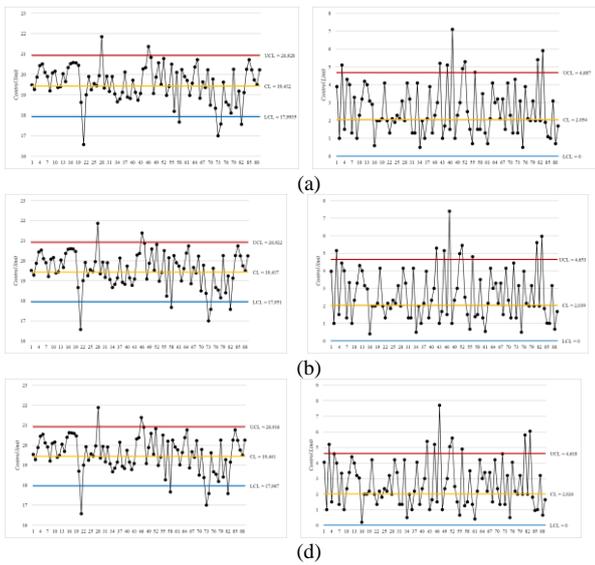
Setelah dilakukan pengendalian kualitas *labelstock* dengan peta kendali fuzzy $\tilde{X} - \tilde{R}$, kemudian dilakukan pengendalian kualitas *labelstock* dengan peta kendali FEWMA (*Fuzzy Exponentially Weighted Moving Average*). Peta kendali FEWMA lebih sensitif dalam mendeteksi pergeseran proses pada data dengan pergeseran kecil.

Sebagaimana peta kendali fuzzy $\tilde{X} - \tilde{R}$, pada peta kendali FEWMA juga digunakan nilai $\alpha - cuts$ sebesar 0,60; 0,65; dan 0,70. Pada pembentukan peta kendali FEWMA dilakukan pembobotan (λ) dengan jarak pembobot 0,1 dengan nilai antara 0 hingga 1. Kemudian akan dipilih nilai pembobot manakah yang paling optimum. Nilai pembobot optimum didapatkan dengan menghitung jumlah pengamatan *out of control* pada peta kendali FEWMA.

Langkah dalam menganalisis menggunakan peta kendali FEWMA memiliki urutan/tata cara yang mirip dengan analisis dengan peta kendali fuzzy $\tilde{X} - \tilde{R}$. Hasil analisis ketebalan lem untuk jenis kertas HVS P 60 dengan peta kendali FEWMA dapat dilihat pada Gambar 3.

Nilai *Upper Control Limit* (UCL) hasil perhitungan pada Gambar 3(a) adalah 19,782 dan *Lower Control Limit* (LCL) adalah 19,112. Pada Gambar 3 diketahui bahwa terdapat banyak pengamatan yang berada di luar *control limit*, yaitu sebanyak 66 titik pengamatan. Titik terjauh dari *control limit* pada Gambar 3(a) adalah pengamatan ke-21 dengan nilai sebesar 16,772. Berdasarkan hal tersebut dapat disimpulkan bahwa proses kualitas *labelstock* untuk jenis kertas HVS P 60 tidak terkendali secara statistik.

Pada Gambar 3(b) menunjukkan bahwa proses kualitas *labelstock* untuk jenis kertas HVS P 60 belum terkendali



Gambar 2. (a) Peta kendali fuzzy $\tilde{X} - \tilde{R}$ dengan $\alpha - cuts = 0,60$; (b) Peta kendali fuzzy $\tilde{X} - \tilde{R}$ dengan $\alpha - cuts = 0,65$; (c) Peta kendali fuzzy $\tilde{X} - \tilde{R}$ dengan $\alpha - cuts = 0,70$.

secara statistik. Hal ini dikarenakan masih banyak pengamatan yang berada di luar nilai *Upper Control Limit* (UCL) dan *Lower Control Limit* (LCL). Jumlah pengamatan *out of control* pada Gambar 3(b) sebanyak 44 pengamatan.

Berdasarkan Gambar 3(c) dapat diketahui bahwa pengamatan belum terkendali secara statistik. Hal ini dilihat dari banyaknya pengamatan yang berada di luar *control limit* seperti halnya pada Gambar 3(a)-(b). Jumlah pengamatan *out of control* pada Gambar 3(c) sebanyak 28 pengamatan.

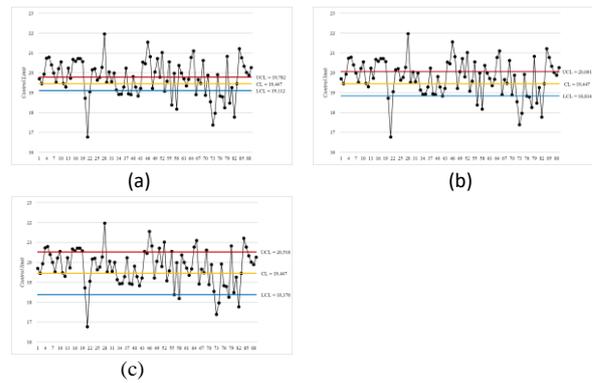
Kemudian untuk menentukan pembobot optimum dari peta kendali FEWMA dapat dilihat dari jumlah pengamatan yang berada di luar *control limit*. Semakin banyak pengamatan yang berada di luar *control limit* menunjukkan bahwa pembobot yang digunakan lebih sensitif dalam mendeteksi pergeseran proses dibandingkan dengan nilai pembobot lainnya. Untuk lebih jelasnya dalam memilih pembobot yang optimum dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8 menunjukkan jumlah pengamatan *out of control* (OOC) dari masing masing pembobot dan nilai $\alpha - cuts$ untuk peta kendali FEWMA. Berdasarkan pada Tabel 8 dapat diketahui bahwa peta kendali FEWMA dengan pembobot $\lambda = 0,1$ memiliki jumlah OOC paling banyak dibandingkan dengan pembobot lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa pembobot $\lambda = 0,1$ merupakan pembobot paling optimum dibandingkan dengan nilai pembobot lainnya karena lebih sensitif dalam mendeteksi pergeseran proses.

E. Perbandingan Peta Kendali

Setelah dilakukan penghitungan peta kendali fuzzy $\tilde{X} - \tilde{R}$ dan FEWMA, kemudian pada sub bab ini dilakukan perbandingan antarmetode untuk melihat perbedaan jumlah pengamatan yang berada di luar UCL dan LCL pada data tebal lem *labelstock* untuk jenis kertas HVS P 60 di PT “XYZ”. Perbedaan jumlah pengamatan OOC dari masing masing peta kendali ditunjukkan oleh Tabel 9.

Berdasarkan Tabel 9 dapat diketahui bahwa jumlah pengamatan yang berada di luar *control limit* pada peta kendali FEWMA lebih banyak dibandingkan pada peta kendali fuzzy



Gambar 3. (a) Peta kendali FEWMA dengan $\lambda = 0,1$; (b) Peta kendali FEWMA dengan $\lambda = 0,3$; (c) Peta kendali FEWMA dengan $\lambda = 0,7$.

$\tilde{X} - \tilde{R}$. Pada peta kendali fuzzy $\tilde{X} - \tilde{R}$ didapatkan jumlah OOC yang sama dari masing masing nilai $\alpha - cuts$ yang digunakan, yaitu jumlah OOC pada peta kendali fuzzy \tilde{R} sebanyak 9 pengamatan dan pada peta kendali fuzzy \tilde{X} terdeteksi 7 pengamatan. Sedangkan jumlah OOC pada peta kendali FEWMA untuk $\alpha - cuts = 0,60$; $0,65$; dan $0,70$ masing masing adalah 65, 66, dan 67 pengamatan. Berdasarkan hal tersebut dapat diketahui bahwa peta kendali FEWMA lebih sensitif dalam mendeteksi pergeseran proses pada pengamatan ketebalan *labelstock* untuk jenis kertas HVS P 60 di PT “XYZ” dibandingkan dengan peta kendali fuzzy $\tilde{X} - \tilde{R}$.

F. Identifikasi Pengamatan Out of Control

Dalam melakukan identifikasi penyebab *out of control* digunakan diagram *ishikawa*. Penyebab terjadinya masalah sering diakibatkan oleh lima elemen yaitu *man*, *method*, *machine*, *material*, dan *environment*. Pada penelitian ini didapatkan bahwa terdapat 4 faktor yang menyebabkan adanya ketebalan lem di luar batas atau *out of control* yaitu faktor *man* (manusia), *machine* (mesin), *material* (bahan baku), dan *method* (metode). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4.

G. Kapabilitas Proses Berbasis Fuzzy

Setelah didapatkan peta kendali fuzzy, selanjutnya dilakukan penghitungan indeks kapabilitas proses berbasis fuzzy. Analisis kapabilitas proses digunakan untuk mengetahui seberapa baik *monitoring* proses pada data ketebalan lem untuk jenis kertas HVS P 60 di PT “XYZ”. Analisis kapabilitas proses yang digunakan adalah indeks kapabilitas proses \tilde{C}_p dan \tilde{C}_{pk} . Berdasarkan hasil perhitungan, didapatkan indeks kapabilitas proses \tilde{C}_p dengan $\alpha - cuts = 0,65$ adalah $(0,369 / 0,355 / 0,721)$ dan \tilde{C}_{pk} untuk $\alpha - cuts = 0,65$ adalah $(0,108 / 0,189 / 0,360)$. Hasil nilai \tilde{C}_p menunjukkan kurang dari 1, se-hingga dapat diketahui bahwa variabilitas antar pengamatan-nya masih besar, dengan kata lain presisi kurang baik. Seperti halnya indeks \tilde{C}_p , indeks \tilde{C}_{pk} menunjukkan angka kurang dari 1 sehingga akurasi-nya kurang baik atau rata-rata yang dihasilkan oleh produknya masih cukup jauh dari target rata-rata yang telah ditentukan. Untuk indeks kapabilitas proses \tilde{C}_p dan \tilde{C}_{pk} dengan $\alpha - cuts = 0,60$ dan $0,70$ menunjukkan hasil yang tidak jauh berbeda dengan $\alpha - cuts = 0,65$.

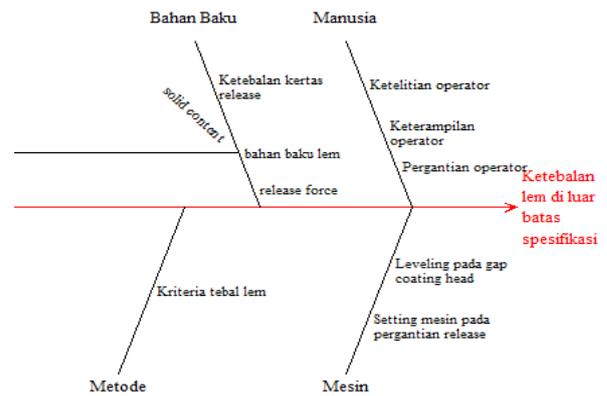
Tabel 9.
Perbedaan jumlah OOC peta kendali

No	Metode	$\alpha - Cuts$	LCL	UCL	OOC
1	Fuzzy $\tilde{X} - \tilde{R}$	0,60	17,935	20,928	7
		0,65	17,951	20,922	7
		0,70	17,967	20,916	7
		0,60	0	4,687	9
		0,65	0	4,653	9
2	FEWMA	0,60	19,108	19,781	65
		0,65	19,113	19,782	66
		0,70	19,117	19,784	67

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan didapatkan bahwa ketebalan *labelstock* dari pengamatan pada sisi kiri, sisi tengah dan sisi kanan menunjukkan adanya ambiguitas pada data, dimana menunjukkan hasil rata-rata dan varians yang bervariasi. Selain itu, diketahui bahwa masih terdapat pengamatan yang berada di luar *control limit*. Kemudian untuk *monitoring* kualitas dengan peta kendali fuzzy $\tilde{X} - \tilde{R}$ dengan nilai $\alpha - cuts = 0,60; 0,65; \text{ dan } 0,70$ diperoleh banyaknya pengamatan OOC yang sama yaitu 9 pengamatan untuk peta kendali fuzzy \tilde{R} dan 7 pengamatan OOC pada peta kendali fuzzy \tilde{X} . Sedangkan pada peta kendali FEWMA dengan nilai $\alpha - cuts = 0,60; 0,65; \text{ dan } 0,70$ didapatkan bahwa bobot optimum yang digunakan dalam *monitoring* pergeseran proses adalah $\lambda = 0,1$. Pada pembentukan peta kendali FEWMA dengan $\lambda = 0,1$, didapatkan jumlah OOC pada masing masing peta kendali dengan $\alpha - cuts = 0,60; 0,65; \text{ dan } 0,70$ sebanyak 65, 66, dan 67 pengamatan. Berdasarkan banyaknya jumlah OOC, dapat diketahui bahwa peta kendali FEWMA lebih sensitif dalam mendeteksi pergeseran proses pada data dibandingkan peta kendali fuzzy $\tilde{X} - \tilde{R}$. Peta kendali FEWMA juga merupakan peta kendali yang *robust* terhadap distribusi normal. Pada indeks kapabilitas \tilde{C}_p , indeks \tilde{C}_{pk} menunjukkan nilai kurang dari 1. Hal ini berarti bahwa data kurang presisi dan akurasi kurang baik.

Oleh sebab itu, Departemen QA dan QC perlu melakukan beberapa langkah untuk menangani adanya OOC pada data pengamatan. Saran yang diberikan kepada Departemen QA dan QC PT "XYZ" adalah dilakukan analisis dengan peta kendali FEWMA dalam *monitoring* proses produksi



Gambar 4. Diagram ishikawa ketebalan lem di luar batas spesifikasi.

labelstock pada karakteristik tebal lem dan dilakukan penambahan intensitas *levelling* pada *gap coating head* agar proses pemberian lemnya selalu rata.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. C. Montgomery, *Introduction to Statistical Quality Control*, 6th ed. New York: John Wiley & Sons, Inc., 2013.
- [2] L. A. Zadeh, "Fuzzy sets," *Inf. Control*, vol. 8, no. 3, pp. 338–353, Jun. 1965. doi: 10.1016/S0019-9958(65)90241-X.
- [3] I. Estuningtyas and W. Wibawati, "Analisis pengendalian kualitas produk *labelstock* menggunakan diagram kontrol kernel di PT. 'X,'" *J. Sains dan Seni ITS*, vol. 2, no. 2, pp. D294--D299, 2013.
- [4] T. Purto, "Analisis kualitas pada produksi *labelstock* kertas HVS di PT. 'X,'" *HEURISTIC J. Tek. Ind.*, vol. 11, no. 01, 2014.
- [5] R. E. Walpole, *Pengantar Metode Statistika, Diterjemahkan: Bambang Sumantri*, 3rd ed. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama, 1955.
- [6] W. Daniel, *Statistika Non Parametrik, Alih Bahasa: Alex Tri Kuncoro*. Jakarta: PT. Gramedia, 1989.
- [7] M. Abdolshah, "Fuzzy process capability indices: A review," *World Appl. Sci. J.*, vol. 16, no. 12, pp. 1734–1740, 2012.
- [8] S. Senturk and N. Erginel, "Development of fuzzy X-R and X-S control charts using alpha-cuts," *Inf. Sci. (Ny)*, vol. 179, no. 10, pp. 1542–1551, 2009.
- [9] S. Senturk, "Fuzzy regression control chart based on alfa-cut approximation," *Int. J. Comput. Intell. Syst.*, vol. 3, no. 1, pp. 123–140, 2010.
- [10] J. S. Hunter, "The exponentially weighted moving average," *J. Qual. Technol.*, vol. 18, no. 4, pp. 203–210, 1986.
- [11] S. Senturk, N. Erginel, I. Kaya, and C. Kahraman, "Fuzzy exponentially weighted moving average control chart for univariate data with a real case application," *Appl. Soft Comput.*, vol. 22, pp. 1–10, 2014.
- [12] C. Kahraman and I. Kaya, "Fuzzy process capability analysis and applications," in *Production Engineering and Management Under Fuzziness*, Springer, 2010, pp. 483–513.
- [13] I. Kaya and C. Kahraman, "Process capability analyses with fuzzy parameters," *Expert Syst. Appl.*, vol. 38, no. 9, pp. 11918–11927, 2011.