

# Pengendalian Kualitas Produksi Film *Biaxially Oriented Polypropylene* (BOPP) di PT. Trias Sentosa Tbk, Menggunakan Grafik Kendali Fuzzy $\tilde{\bar{X}} - \tilde{\bar{R}}$

Gunawan Tanjum, Ni Luh Putu Setyaning Pradnya Paramita dan Haryono  
Departemen Statistika, Fakultas Matematika, Komputasi, dan Sains Data,  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)  
*e-mail*: sat.pradnyaparamita@gmail.com

**Abstrak**—Kebutuhan plastik di Indonesia masih cukup tinggi, tercatat produksi plastik di Indonesia di tahun 2018 mencapai 4,6 juta ton/tahun. PT. Trias Sentosa Tbk, sebagai salah satu produsen terbesar produk film kemasan fleksibel dengan bahan utama *Biaxially Oriented Polypropylene* (BOPP) telah mengaplikasikan standar internasional dalam menghasilkan produk yang bernilai tinggi bagi pelanggan, namun pada proses produksi seringkali masih ditemukan kecatatan produk. Pada penelitian ini akan dianalisis karakteristik kualitas produk BOPP menggunakan grafik kendali  $\bar{X} - R$  dan grafik kendali berbasis fuzzy  $\tilde{\bar{X}} - \tilde{\bar{R}}$ . Selanjutnya dengan berbasis fuzzy akan ditinjau proses kapabilitas setiap karakteristik kualitas. Didapatkan metode fuzzy dengan alpha ( $\alpha = 0.65$ ) lebih sesuai digunakan jika terdapat kesamaran (pengamatan pada sisi yang berbeda) karena lebih informatif. Selanjutnya proses kapabilitas setiap karakteristik kualitas sudah berada pada batas mampu atau memuaskan, kecuali pada karakteristik stiffness yang memiliki kapabilitas yang masih kurang baik sehingga disarankan dilakukan perbaikan atau peninjauan kembali.

**Kata Kunci**—BOPP, Fuzzy, Karakteristik Kualitas, Proses kapabilitas, Stiffness.

## I. PENDAHULUAN

PRODUKSI plastik nasional terus mengalami peningkatan dari tahun ke tahun, pada tahun 2018 produksi plastik nasional mencapai 4,6 juta ton/tahun. hal tersebut menunjukkan kebutuhan masyarakat terhadap plastik di Indonesia masih cukup tinggi. Selain itu kementerian perindustrian juga terus mendorong peningkatan investasi industri plastik dan karet dalam negeri, upaya ini guna memperkuat struktur manufaktur agar mampu mendongkrak nilai tambah dan mengurangi bahan baku impor (JawaPos, 2018).

Salah satu perusahaan yang bergerak di industri plastik adalah PT. Trias Sentosa Tbk, perusahaan ini merupakan produsen film kemasan fleksibel terbesar di Indonesia. PT. Trias Sentosa Tbk juga telah mengembangkan produknya secara spesifik untuk menyesuaikan kebutuhan masing-masing pelanggan. Salah satu tipe film yang diproduksi yaitu *Biaxially Oriented Polypropylene* (BOPP) yang memiliki ketahanan tinggi terhadap kelembaban.

Pengendalian kualitas adalah aktivitas pengendalian proses untuk mengukur ciri-ciri kualitas produk, membandingkannya dengan spesifikasi atau persyaratan yang ada dan mengambil tindakan penyehatan yang sesuai apabila ada perbedaan antara penampilan yang sebenarnya dengan

standar yang telah ditetapkan [1]. PT. Trias Sentosa sendiri telah mengaplikasikan standar internasional dalam menghasilkan produk yang bernilai tinggi bagi pelanggan. Kualitas menjadi kunci keberhasilan perusahaan agar tetap dipercaya dan bertahan di masyarakat. Untuk menjaga kualitas produk film kemasan fleksibel dalam proses *inspecting* dilakukan pengukuran kualitas terhadap *thickness*, *tensile strength*, *elongation*, dan *stiffness*.

Metode *fuzzy* atau *fuzzy logic* adalah cabang matematika yang memungkinkan untuk memodelkan kondisi nyata. Metode ini menyediakan cara sederhana untuk bernalar dengan ketidakjelasan, ambiguitas, dan tidak tepat. Subjektifitas manusia sangat diperhitungkan daripada hanya menggunakan ukuran probabilitas obyektif [2]. Kebutuhan industri dalam meningkatkan kualitas saat ini terus berkembang, diperlukan metode atau cara yang lebih akurat, presisi dan informatif dalam menunjukkan kondisi kualitas perusahaan. Untuk menunjang kebutuhan tersebut metode *fuzzy* dikembangkan. Metode ini sendiri sudah digunakan aplikasinya dalam bidang industri, peneliti sebelumnya. Senturk [3] mengemukakan grafik kendali *fuzzy* regresi lebih baik dari pada grafik kendali regresi tradisional. Pradini [4] mengemukakan grafik kendali *fuzzy u* lebih sensitif jika dibandingkan dengan grafik kendali demerit. Septiana [5] grafik kendali *fuzzy c* lebih sensitif dibandingkan dengan grafik kendali *c*.

Berdasarkan penelitian sebelumnya menunjukkan metode *fuzzy* pada kasus regresi dan data atribut lebih sensitif dibandingkan metode tradisional (Shewhart). Faraz dan Moghadam [6] mengemukakan bahwa ARL grafik kendali *fuzzy  $\tilde{\bar{X}}$*  lebih baik dibandingkan Shewhart  $\bar{X}$ , namun pada penelitian tersebut proses yang dikendalikan hanya rata-rata proses saja tanpa memperhatikan *range* atau deviasi standar proses. Sehubungan dengan hal ini, pada penelitian akan dianalisis karakteristik kualitas produk menggunakan grafik kendali  $\bar{X} - R$  dan grafik kendali *fuzzy  $\tilde{\bar{X}} - \tilde{\bar{R}}$* . Selain itu juga akan diteliti mengenai proses kapabilitas setiap variabel karakteristik kualitas, dengan begitu perusahaan dapat melakukan perbaikan dengan metode yang sesuai sehingga selanjutnya dapat dilakukan perbaikan yang efisien dan efektif ditinjau dari kapabilitasnya.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Grafik Kendali $\bar{X} - R$ dan $\bar{X} - S$

Grafik kendali merupakan alat pengendalian proses statistik berupa grafik yang menggambarkan hasil dari proses

produksi, grafik kendali terdiri atas 3 komponen penting yaitu Batas Kendali Atas (BKA), Garis Tengah (GT), Batas Kendali Bawah (BKB). Garis Tengah (GT). Jika suatu titik berada diluar batas kendali atas dan batas kendali bawah maka dinyatakan bahwa proses bekerja diluar kendali dan disarankan untuk dilakukan penyelidikan dan perbaikan [1]. Batas-batas kendali untuk grafik  $\bar{X}$  berbasis *range* diberikan sebagai berikut:

$$\bar{X}_j = \frac{\sum_{i=1}^n X_{ij}}{n} \quad (1)$$

$$BKA_{\bar{X}} = UCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + (A_2 \bar{R}) \quad (2)$$

$$GT_{\bar{X}} = CL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} = \frac{\sum_{j=1}^k \bar{X}_j}{m} \quad (3)$$

$$BKB_{\bar{X}} = LCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - (A_2 \bar{R}) \quad (4)$$

Kemudian batas-batas kendali untuk grafik R sebagai berikut,

$$R_j = X_{j \text{ maks}} - X_{j \text{ min}} \quad (5)$$

$$BKA_R = UCL_R = D_4 \bar{R} \quad (6)$$

$$GT_R = CL_R = \bar{R} = \frac{\sum_{j=1}^k R_j}{m} \quad (7)$$

$$BKB_R = LCL_R = D_3 \bar{R} \quad (8)$$

Sedangkan batas-batas kendali grafik  $\bar{X}$  berbasis standar deviasi diberikan sebagai berikut,

$$BKA_{\bar{X}} = UCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + (A_3 \bar{S}) \quad (9)$$

$$BKB_{\bar{X}} = LCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - (A_3 \bar{S}) \quad (10)$$

Kemudian batas-batas kendali untuk grafik S sebagai berikut,

$$BKA_S = UCL_S = B_4 \bar{S} \quad (11)$$

$$GT_S = CL_S = \bar{S} = \frac{\sum_{j=1}^k S_j}{k} \quad (12)$$

$$BKB_S = LCL_S = B_3 \bar{S} \quad (13)$$

Keterangan :

- k = banyak subgroup
- n = besar sampel tiap subgroup
- $\bar{X}_i$  = rata-rata subgroup ke-j
- $GT_{\bar{X}}$  = garis tengah grafik  $\bar{X}$
- $R_j$  = range dari subrup ke-j
- $\bar{R}$  = garis tengah grafik R
- $S_j$  = deviasi standar dari subrup ke-j
- $\bar{S}$  = garis tengah grafik S

**B. Logika Fuzzy**

Menurut Zadeh (1965) himpunan fuzzy dapat digunakan untuk merepresentasikan masalah yang mengandung ketidakjelasan atau kesamaran (vagueness) [7]. Metode fuzzy diformulasikan untuk mencari nilai tengah antara bilangan Aristoteles 0 dan 1. Jika pada himpunan klasik, nilai keanggotaan hanya 2 yaitu 0 dan 1, maka fuzzy nilai keanggotaan suatu item x terletak pada rentan 0 sampai 1. Komponen utama yang sangat berpengaruh adalah fungsi keanggotaan atau yang biasa dikenal dengan istilah *fuzzy membership*, untuk mendapatkan nilai keanggotaan tersebut salah satu caranya dengan melalui pendekatan fungsi. Ada beberapa fungsi yang dapat digunakan, pada penelitian ini digunakan representasi kurva segitiga/ triangular.

**C. Grafik Kendali Fuzzy  $\tilde{X} - \tilde{R}$**

Fuzzy  $\tilde{X} - \tilde{R}$  pada dasarnya merupakan salah satu aplikasi dari fuzzy dengan jenis data variabel. Metode fuzzy sangat berguna untuk memodelkan data yang tidak pasti. Metode ini memiliki nilai limit kontrol yang fleksibel, sehingga dapat mengatasi limit kontrol yang kaku [3]. Ukuran tendensi sentral dalam statistik deskriptif digunakan dalam bagan

kontrol variabel. ukuran ini dapat digunakan untuk mengonversi set fuzzy menjadi skalar dengan metode fuzzy, *α-level fuzzy midrange*, fuzzy median, dan fuzzy average. Tidak ada dasar teori untuk memilih ukuran fuzzy tepat di antara empat metode ini.

Pada penggunaan grafik kendali fuzzy  $\tilde{X} - \tilde{R}$ , setiap subgroup diubah dalam bentuk angka triangel fuzzy (a, b, c). kemudian angka triangel fuzzy tersebut ditulis dalam bentuk ( $X_a, X_b, X_c$ ) pada setiap sampel observasi. Batas-batas kendali grafik kendali fuzzy  $\tilde{X}$  berbasis *range* dapat ditulis sebagai berikut,

$$\bar{X}_{rj} = \frac{\sum_{i=1}^n x_{rij}}{n}; r = a, b, c; i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m \quad (14)$$

$$\bar{\bar{X}}_r = \frac{\sum_{j=1}^m \bar{X}_{rj}}{m}; r = a, b, c; j = 1, 2, 3 \dots m \quad (15)$$

$$\begin{aligned} \widetilde{UCL}_{\bar{X}} &= \widetilde{CL} + A_2 \bar{R} = (\bar{\bar{X}}_a, \bar{\bar{X}}_b, \bar{\bar{X}}_c) + A_2 (\bar{R}_a, \bar{R}_b, \bar{R}_c) \\ &= (\bar{\bar{X}}_a + A_2 \bar{R}_a, \bar{\bar{X}}_b + A_2 \bar{R}_b, \bar{\bar{X}}_c + A_2 \bar{R}_c) \\ &= (\widetilde{UCL}_1, \widetilde{UCL}_2, \widetilde{UCL}_3) \end{aligned} \quad (16)$$

$$\widetilde{CL} = (\bar{\bar{X}}_a, \bar{\bar{X}}_b, \bar{\bar{X}}_c) = \left\{ \frac{\sum_{j=1}^m \bar{X}_{aj}}{m}, \frac{\sum_{j=1}^m \bar{X}_{bj}}{m}, \frac{\sum_{j=1}^m \bar{X}_{cj}}{m} \right\} \quad (17)$$

$$\begin{aligned} \widetilde{LCL}_{\bar{X}} &= \widetilde{CL} - A_2 \bar{R} = (\bar{\bar{X}}_a, \bar{\bar{X}}_b, \bar{\bar{X}}_c) - A_2 (\bar{R}_a, \bar{R}_b, \bar{R}_c) \\ &= (\bar{\bar{X}}_a - A_2 \bar{R}_a, \bar{\bar{X}}_b - A_2 \bar{R}_b, \bar{\bar{X}}_c - A_2 \bar{R}_c) \\ &= (\widetilde{LCL}_1, \widetilde{LCL}_2, \widetilde{LCL}_3) \end{aligned} \quad (18)$$

Selanjutnya digunakan *α-cut fuzzy  $\tilde{X}$*  berdasarkan *range* untuk menentukan batas-batas yang telah ditentukan perusahaan dapat dituliskan dalam persamaan berikut,

$$\bar{X}_a^\alpha = \bar{X}_a + \alpha(\bar{X}_b - \bar{X}_a) \quad (19)$$

$$\bar{X}_c^\alpha = \bar{X}_c - \alpha(\bar{X}_c - \bar{X}_b) \quad (20)$$

$$\widetilde{UCL}_{\bar{X}}^\alpha = \widetilde{CL}_{\bar{X}}^\alpha + A_2 \bar{R}^\alpha = (\bar{X}_a^\alpha, \bar{X}_b, \bar{X}_c^\alpha) + A_2 (\bar{R}_a^\alpha, \bar{R}_b, \bar{R}_c^\alpha) \quad (21)$$

$$\widetilde{CL}_{\bar{X}}^\alpha = (\bar{X}_a^\alpha, \bar{X}_b, \bar{X}_c^\alpha) \quad (22)$$

$$\widetilde{LCL}_{\bar{X}}^\alpha = \widetilde{CL}_{\bar{X}}^\alpha - A_2 \bar{R}^\alpha = (\bar{X}_a^\alpha, \bar{X}_b, \bar{X}_c^\alpha) - A_2 (\bar{R}_a^\alpha, \bar{R}_b, \bar{R}_c^\alpha) \quad (23)$$

di mana,

$$\bar{R}_a^\alpha = \bar{R}_a + \alpha(\bar{R}_b - \bar{R}_a) \quad (24)$$

$$\bar{R}_c^\alpha = \bar{R}_c - \alpha(\bar{R}_c - \bar{R}_b) \quad (25)$$

untuk menentukan apakah *α-cut fuzzy  $\tilde{X}$*  terkontrol atau tidak digunakan transformasi *α-level fuzzy midrange* yang dapat dituliskan sebagai berikut,

$$UCL_{mr-\bar{X}}^\alpha = CL_{mr-\bar{X}}^\alpha + A_2 \left( \frac{\bar{R}_a^\alpha + \bar{R}_c^\alpha}{2} \right) \quad (26)$$

$$CL_{mr-\bar{X}}^\alpha = f_{mr-\bar{X}}^\alpha(\widetilde{CL}) = \frac{\bar{X}_a^\alpha + \bar{X}_c^\alpha}{2} \quad (27)$$

$$LCL_{mr-\bar{X}}^\alpha = CL_{mr-\bar{X}}^\alpha - A_2 \left( \frac{\bar{R}_a^\alpha + \bar{R}_c^\alpha}{2} \right). \quad (28)$$

Kemudian definisi dari *α- Level fuzzy midrange* dari sampel j dapat ditulis sebagai berikut,

$$S_{mr-\bar{X},j}^\alpha = \frac{(\bar{X}_{aj} + \bar{X}_{cj}) + \alpha(\bar{X}_{bj} - \bar{X}_{aj})(\bar{X}_{cj} - \bar{X}_{bj})}{2} \quad (29)$$

di mana pada proses kontrol subgroup ke-j dapat didefinisikan sebagai berikut,

$$\text{Process Control} = \begin{cases} \text{In Control ; for } LCL_{(mr-\bar{x})}^{\alpha} \leq S_{(mr-\bar{x},j)}^{\alpha} \leq UCL_{(mr-\bar{x})}^{\alpha} \\ \text{Out of Control ; Otherwise} \end{cases} \quad (30)$$

Kemudian pada *fuzzy R* mengikuti konsep tradisional maka batas kendali grafik tersebut dapat dituliskan sebagai berikut,

$$\bar{R}_r = \frac{\sum_{j=1}^m R_{rj}}{m} ; r = a, b, c ; j = 1, 2, 3 \dots m \quad (31)$$

di mana  $R_{rj}$  didapatkan berdasarkan persamaan berikut,

$$\begin{aligned} R_{aj} &= X_{max. aj} - X_{min aj} ; \\ R_{bj} &= X_{max. bj} - X_{min bj} ; \\ R_{cj} &= X_{max. cj} - X_{min cj} ; j = 1, 2, 3 \dots m \end{aligned} \quad (32)$$

kemudian untuk batas kendali atas dan bawah dituliskan dalam persamaan sebagai berikut,

$$\widehat{UCL}_R = D_4 \bar{R}_r = D_4 (\bar{R}_a, \bar{R}_b, \bar{R}_c) \quad (33)$$

$$\widehat{CL}_R = (\bar{R}_a, \bar{R}_b, \bar{R}_c) \quad (34)$$

$$\widehat{LCL}_R = D_3 \bar{R}_r = D_3 (\bar{R}_a, \bar{R}_b, \bar{R}_c) \quad (35)$$

Selanjutnya digunakan pula  $\alpha$ -cut *fuzzy R* yang dituliskan sebagai berikut,

$$\widehat{UCL}_R^{\alpha} = D_4 \bar{R}^{\alpha} = D_4 (\bar{R}_a^{\alpha}, \bar{R}_b^{\alpha}, \bar{R}_c^{\alpha}) \quad (36)$$

$$\widehat{CL}_R^{\alpha} = (\bar{R}_a^{\alpha}, \bar{R}_b^{\alpha}, \bar{R}_c^{\alpha}) \quad (37)$$

$$\widehat{LCL}_R^{\alpha} = D_3 \bar{R}^{\alpha} = D_3 (\bar{R}_a^{\alpha}, \bar{R}_b^{\alpha}, \bar{R}_c^{\alpha}) \quad (38)$$

dengan  $\alpha$ -level *fuzzy midrange* untuk  $\alpha$ -cut *fuzzy R* sebagai berikut,

$$UCL_{mr-R}^{\alpha} = D_4 f_{mr-R}^{\alpha}(\widehat{CL}) \quad (39)$$

$$CL_{mr-R}^{\alpha} = f_{mr-R}^{\alpha}(\widehat{CL}) = \frac{\bar{R}_a^{\alpha} + \bar{R}_c^{\alpha}}{2} \quad (40)$$

$$LCL_{mr-R}^{\alpha} = D_3 f_{mr-R}^{\alpha}(\widehat{CL}) \quad (41)$$

kemudian  $\alpha$ -level *fuzzy midrange* untuk  $\alpha$ -cut *fuzzy R* pada subgrup ke-j dapat didefinisikan sebagai berikut,

$$S_{mr-R}^{\alpha} = \frac{(R_{aj} + R_{cj}) + \alpha[(R_{bj} - R_{aj})(R_{cj} - R_{bj})]}{2} \quad (42)$$

di mana pada proses kendali dapat didefinisikan,

$$\text{Process Control} = \begin{cases} \text{In Control ; for } LCL_{(mr-R)}^{\alpha} \leq S_{(mr-R,j)}^{\alpha} \leq UCL_{(mr-R)}^{\alpha} \\ \text{Out of Control ; Otherwise} \end{cases} \quad (43)$$

Berikut merupakan notasi yang digunakan pada grafik kendali *fuzzy*,

Tabel 1.  
Notasi *Fuzzy*

No	Notasi	Keterangan
1	~	Pendekatan <i>fuzzy</i> (Tilde)
2	(a,b,c) / (a/b/c)	<i>Fuzzy membership</i>
3	$\alpha$	Tingkat ketelitian

D. Analisis Proses kapabilitas

Proses kapabilitas (*process capability*) adalah kisaran di mana variasi alami suatu proses terjadi akibat penyebab umum suatu system [8]. Namun pada metode *fuzzy* nilai  $C_p$  dan  $C_{pk}$  dapat dihitung menggunakan *Triangular Fuzzy Number* (TFN) [9].  $C_{pk}$  menjelaskan seberapa baik proses mendekati batas-batas spesifikasi, dengan mem-

pertimbangkan lokasi rata-rata proses [10]. Sehingga batas spesifikasi atas dapat ditulis  $\widehat{USL} = TFN(u_1, u_2, u_3)$  dan batas spesifikasi bawahnya  $\widehat{LSL} = TFN(l_1, l_2, l_3)$ . Selanjutnya  $\alpha$ -cut untuk batas spesifikasi ditunjukkan sebagai berikut,

$$\begin{aligned} \widehat{USL}(\alpha) &= [(u_2 - u_1)\alpha + u_1, (u_2 - u_3)\alpha + u_3] \\ &= (\widehat{USL}_a^{\alpha}, \widehat{USL}_c^{\alpha}) \end{aligned} \quad (44)$$

$$\begin{aligned} \widehat{LSL}(\alpha) &= [(l_2 - l_1)\alpha + l_1, (l_2 - l_3)\alpha + l_3] \\ &= (\widehat{LSL}_a^{\alpha}, \widehat{LSL}_c^{\alpha}) \end{aligned} \quad (45)$$

Nilai rata-rata proses *fuzzy* ( $\tilde{\mu}$ ) dan deviasi standar *fuzzy* ( $\tilde{\sigma}$ ) dapat dihitung sebagai berikut,

$$\tilde{\mu} = \tilde{\bar{X}} = TFN(\mu_1, \mu_2, \mu_3) \quad (46)$$

$$\tilde{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2} = \left( \frac{\bar{r}_1}{d_2}, \frac{\bar{r}_2}{d_2}, \frac{\bar{r}_3}{d_2} \right) \quad (47)$$

di mana,

$$\mu_a^{\alpha} = \mu_a + \alpha(\mu_b - \mu_a) \quad (48)$$

$$\mu_c^{\alpha} = \mu_c - \alpha(\mu_c - \mu_b) \quad (49)$$

dan

$$\hat{\sigma}_a^{\alpha} = \hat{\sigma}_a + \alpha(\hat{\sigma}_b - \hat{\sigma}_a) \quad (50)$$

$$\hat{\sigma}_c^{\alpha} = \hat{\sigma}_c - \alpha(\hat{\sigma}_c - \hat{\sigma}_b) \quad (51)$$

sehingga nilai kapabilitas *fuzzy* dapat dihitung dengan persamaan berikut,

$$\hat{C}_p(\alpha) = \frac{\widehat{USL}(\alpha) - \widehat{LSL}(\alpha)}{6\tilde{\sigma}(\alpha)} \quad (52)$$

di mana,

$$\begin{aligned} \hat{C}_p(\alpha) &= TFN \left( \frac{((u_b - u_a)\alpha + u_a) - ((l_b - l_c)\alpha + l_c)}{6\hat{\sigma}_c^{\alpha}}, \frac{((u_b - u_c)\alpha + u_c) - ((l_b - l_a)\alpha + l_a)}{6\hat{\sigma}_a^{\alpha}} \right) \\ &= TFN \left( \frac{\widehat{USL}_a^{\alpha} - \widehat{LSL}_c^{\alpha}}{6\hat{\sigma}_c^{\alpha}}, \frac{\widehat{USL}_c^{\alpha} - \widehat{LSL}_a^{\alpha}}{6\hat{\sigma}_a^{\alpha}} \right) \end{aligned} \quad (53)$$

selanjutnya indeks *fuzzy*  $C_{pk}$  dapat dihitung sebagai berikut,

$$\tilde{C}_{pl}(\alpha) = TFN \left( \frac{\mu_1(\alpha) - ((l_2 - l_3)\alpha + l_3)}{3\hat{\sigma}_c(\alpha)}, \frac{\mu_3(\alpha) - ((l_2 - l_1)\alpha + l_1)}{3\hat{\sigma}_a(\alpha)} \right) \quad (54)$$

$$\tilde{C}_{pu}(\alpha) = TFN \left( \frac{(u_2 - u_1)\alpha + u_1 - \mu_3(\alpha)}{3\hat{\sigma}_c(\alpha)}, \frac{(u_2 - u_3)\alpha + u_3 - \mu_1(\alpha)}{3\hat{\sigma}_a(\alpha)} \right) \quad (55)$$

$$\tilde{C}_{pk}(\alpha) = \text{Min}\{\tilde{C}_{pl}(\alpha); \tilde{C}_{pu}(\alpha)\} \quad (56)$$

Nilai proses kapabilitas ( $\tilde{C}_p$ ) dapat ditinjau berdasarkan tabel berikut [11],

Tabel 2.

Proses Kapabilitas

Status Kualitas	Kondisi
Sangat Bagus	$2,00 \leq C_p$
Bagus	$1,67 \leq C_p < 2,00$
memuaskan	$1,33 \leq C_p < 1,67$
mampu	$1,00 \leq C_p < 1,33$
tidak memdai	$0,67 \leq C_p < 1,00$
buruk	$C_p \leq 0,67$

Tabel diatas menunjukkan tingkat kebaikan suatu proses berdasarkan indeks  $\tilde{C}_p$ .

E. Proses Produksi Film Kemasan Fleksibel

Produk Utama dari dari PT. Trias Sentosa Tbk, salah satunya adalah film Biaxially Oriented Polypropylene

(BOPP) yang digunakan secara luas sebagai bahan kemasan untuk bermacam-macam barang. Jenis dan aplikasi penggunaan film BOPP antara lain sebagai berikut,

Tabel 3.  
Biaxially Oriented Polypropylene

BOPP Product Range	
Jenis Produk	Penggunaan
Printing & Laminating	Food Packaging
Overwrap	Tobacco and BOX Overwrap
Anti-Fog	Anti-Fog Bag forr Vegetable, fresh fruits
Matte	Paper Look Packaging & Paper Laminating
Pearlize	Ice Cream, Candy, Soap Packaging
White Opaque	Food Packaging
Label	Clear, White and Metallized Label
Metallized	Food Packaging
Coated (PVDC & Acrylic)	Food Packaging
Thermal Film	Paper Lamination

Proses pembuatan BOPP film sendiri dimulai dengan pelelehan *raw material* pada mesin ekstruder yang terdiri dari mesin utama dan satelit-satelitnya, sehingga akan dihasilkan film (*cast film*) yang terdiri dari tiga lapis. Selanjutnya film akan ditarik sebanyak dua kali, penarikan pertama dilakukan pada mesin MDO (*machine direction oriented*) film ditarik dengan rasio satu banding lima atau ditarik hingga lima kali panjang mula-mula. Selanjutnya ditarik pada mesin TDO (*transverse direction oriented*) dilakukan penarikan hingga sepuluh kali panjang mula-mula.

Selanjutnya film akan diberikan *treatment* khusus, permukaan plastik akan dihantarkan energi (*surface energy*) diaman pemebrian energi ini terdiri dari dua jenis, yaitu pemberian aliran listrik atau pemanasan (api). Pemebrian *treatment* ini bertujuan agar film dapat dibentuk atau digunakan sesuai kebutuhan, hingga pada tahap akhir film akan digulung pada rol dan dipotong sesuai pesanan pelanggan.

### III. METODOLOGI PENELITIAN

#### A. Sumber Data

Data yang digunakan pada penelitian merupakan data sekunder dari PT. Trias Sentosa , Tbk berupa nilai-nilai hasil pengukuran variabel kontrol film kemasan fleksibel BOPP *thickness* 20  $\mu\text{m}$  tahun 2017 s/d 2018.

#### B. Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

Tabel 4.  
Variabel Penelitian

No	Variabel	Keterangan	Satuan
1	X1	Tensile Strength	Kg/mm <sup>2</sup>
2	X2	Elongation	%
3	X3	Stiffness	Kg/mm <sup>2</sup>

#### C. Struktur Data

Struktur data yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada tabel 5, di mana  $j = 1, 2, \dots, m$ ;  $i = 1, 2, \dots, n$ . ('j' menjelaskan subgrup pengamatan dan 'i' menjelaskan pengamatan pada setiap subgrup).

Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Melakukan pengumpulan data produksi film kemasan fleksibel.
2. Membuat statistika deskriptif dan pengujian asumsi

3. Membuat grafik kendali  $\bar{X} - \bar{R}$
4. Membuat grafik kendali *fuzzy*  $\bar{X} - \bar{R}$
5. Menganalisis proses kapabilitas produksi produk
6. Penarikan kesimpulan

Tabel 5.

Struktur Data			
Subgrup	X <sub>a</sub>	X <sub>b</sub>	X <sub>c</sub>
1	X <sub>a11</sub>	X <sub>b11</sub>	X <sub>c11</sub>
	X <sub>a12</sub>	X <sub>b12</sub>	X <sub>c12</sub>
	X <sub>a13</sub>	X <sub>b13</sub>	X <sub>c13</sub>
	X <sub>a14</sub>	X <sub>b14</sub>	X <sub>c14</sub>
2	X <sub>a21</sub>	X <sub>b21</sub>	X <sub>c21</sub>
	X <sub>a22</sub>	X <sub>b22</sub>	X <sub>c22</sub>
	X <sub>a23</sub>	X <sub>b23</sub>	X <sub>c23</sub>
	X <sub>a24</sub>	X <sub>b24</sub>	X <sub>c24</sub>
j	X <sub>am1</sub>	X <sub>bm1</sub>	X <sub>cm1</sub>
	X <sub>am2</sub>	X <sub>bm2</sub>	X <sub>cm2</sub>
	X <sub>am3</sub>	X <sub>bm3</sub>	X <sub>cm3</sub>
	X <sub>am4</sub>	X <sub>bm4</sub>	X <sub>cm4</sub>

### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Statistika Deskriptif

Data yang digunakan dalam penelitian Tugas Akhir ini berisi tentang data karakteristik kualitas Produk BOPP yang terdiri dari beberapa variabel yaitu *tensile strength* (kekuatan tekanan), *elongation* (pemanjangan), dan *stiffness* (kekakuan). Kemudian setiap variabel diukur dengan dua kategori yaitu *Machine Direction* (MD) dan *Transverse Direction* (TD), selanjutnya setiap variabel diukur pada tiga sisi berbeda yaitu *right* (kanan), *center* (tengah), dan *left* (kiri). Pada Tabel 5 telah disajikan tabel kontingensi untuk setiap karakteristik kualitas.

Tabel 6.

Statistika Deskriptif					
Variabel	Mean	StDev	Min	Max	Specs
Tensile Strength MD R	13,15	0,67	11,80	14,67	11-18
Tensile Strength MD C	13,16	0,70	11,69	15,13	
Tensile Strength MD L	12,90	0,66	11,62	14,51	22-40
Tensile Strength TD R	30,99	1,80	26,54	34,24	
Tensile Strength TD C	31,21	1,65	25,90	35,28	120-240
Tensile Strength TD L	30,60	1,53	26,87	33,21	
Elongation MD R	168,3	12,38	144,5	214,2	30-90
Elongation MD C	168	13,01	141,6	204,33	
Elongation MD L	168,67	13,65	144,87	214	120-180
Elongation TD R	44,97	5,64	32,53	64,27	
Elongation TD C	45,84	5,54	31,93	61,60	210-300
Elongation TD L	42,86	5,76	31,77	57,30	
Stiffness MD R	157,05	19,31	121,6	197,8	120-180
Stiffness MD C	155,56	19,38	124	195,67	
Stiffness MD L	155,19	17,98	121,63	193,6	210-300
Stiffness TD R	282,16	34,21	213,4	357,53	
Stiffness TD C	284,08	31,43	215,23	364,4	300
Stiffness TD L	283,64	31,88	221,53	361,17	

Pada setiap karakteristik kualitas digunakan 76 sampel. Berdasarkan Tabel 6. didapatkan informasi bahwa karakteristik *tensile strength* MD R (*right*) memiliki rata-rata 13,154 dengan deviasi standar sebesar 0,674. Sedangkan untuk karakteristik lain menunjukkan rata-rata yang berbeda disetiap sisi pengambilan sampel pada karakteristik yang sama sehingga mengindikasikan terdapat kesamaran (*vagueness*).

#### B. Uji Distribusi

Akan dilakukan pengujian asumsi kenormalan data, menggunakan uji kenormalan *Kolmogorov-Smirnov*. Bila nilai melebihi batas signifikansi ( $\alpha = 0.05$ ) maka dapat disimpulkan data berdistribusi normal. Pengujian asumsi dilakukan pada setiap karakteristik, namun karena terdapat pengamatan pada sisi yang berbeda maka hanya ditinjau pengamatan sisi *center* (tengah) saja sebagai berikut,

Tabel 7.  
Uji Normalitas

No	Variabel	Mean	StDev	P-Value
1	Tensile Strength MD C	13.16	0.7	0.136
2	Tensile Strength TD C	31.22	16.57	0.15
3	Elongation MD C	168	13.01	0.084
4	Elongation TD C	45.84	5.548	0.15
5	Stiffness MD C	155.6	19.38	0.15
6	Stiffness TD C	284.1	31.43	0.15

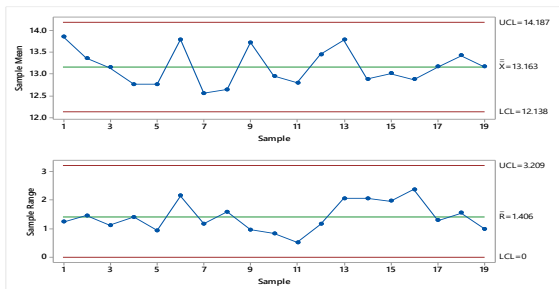
Berdasarkan Tabel 7 menunjukkan bahwa setiap variabel telah memenuhi asumsi kenormalan, atau berdistribusi normal.

C. Grafik Kendali  $\bar{X} - R$

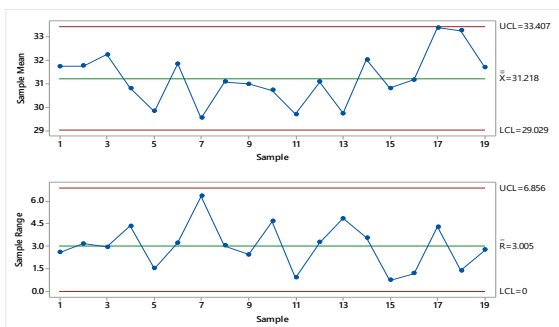
Pada bagian ini akan dilakukan perhitungan batas kendali statistik menggunakan metode  $\bar{X} - R$  pada setiap karakteristik kualitas, dengan jumlah pengamatan sebanyak 76 sampel. Namun karena pada pengamatan karakteristik terdapat replikasi/pengamatan pada sisi yang berbeda maka akan digunakan pengamatan *center* (tengah) untuk mewakili variabel.

1. Grafik Kendali  $\bar{X} - R$  Tensile Strength MD

Pada bagian ini akan digunakan grafik kendali  $\bar{X} - R$  pada karakteristik *tensile strength machine direction* (MD), dimana hanya diamati pengamatan sisi tengah (*center*) untuk mewakili karakteristik. Ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Grafik Kendali  $\bar{X} - R$  Tensile Strength MD.



Gambar 2. Grafik Kendali  $\bar{X} - R$  Tensile Strength TD.

Berdasarkan Gambar 1 menunjukkan pada karakteristik *tensile strength* MD telah terkendali secara statistik.

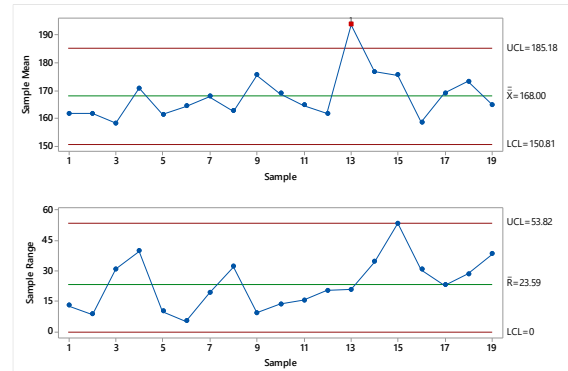
2. Grafik Kendali  $\bar{X} - R$  Tensile Strength TD

Selanjutnya akan digunakan grafik kendali  $\bar{X} - R$  pada karakteristik *tensile strength transverse direction* (TD) sisi tengah (*center*) yang ditunjukkan pada Gambar 2.

Berdasarkan gambar 5 menunjukkan karakteristik *tensile strength* TD telah terkendali secara statistik.

3. Grafik Kendali  $\bar{X} - R$  Elongation MD

Selanjutnya akan digunakan grafik kendali  $\bar{X} - R$  pada karakteristik *elongation* MD sisi tengah (*center*) yang ditunjukkan pada gambar berikut,

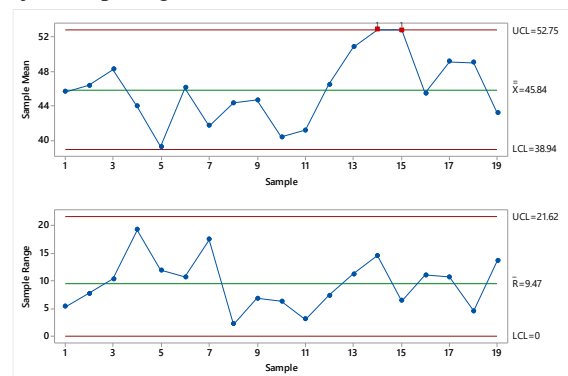


Gambar 3. Grafik Kendali  $\bar{X} - R$  Elongation MD

Berdasarkan gambar 6. Menunjukkan terdapat pengamatan yang berada diluar batas kendali yaitu pada subgroup ke-13.

4. Grafik Kendali  $\bar{X} - R$  Elongation TD

Selanjutnya akan digunakan grafik kendali  $\bar{X} - R$  pada karakteristik *elongation* TD sisi tengah (*center*) yang ditunjukkan pada gambar berikut,

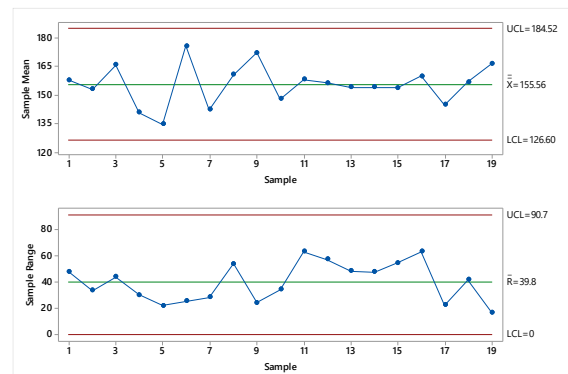


Gambar 4. Grafik Kendali  $\bar{X} - R$  Elongation TD.

Berdasarkan gambar 7. Terdapat pengamatan yang berada diluar batas kendali yaitu pada pengamatan ke-14 dan 15.

5. Grafik Kendali  $\bar{X} - R$  Stiffness MD

Selanjutnya akan digunakan grafik kendali  $\bar{X} - R$  pada karakteristik *stiffness* MD sisi tengah (*center*) yang ditunjukkan pada Gambar 5,

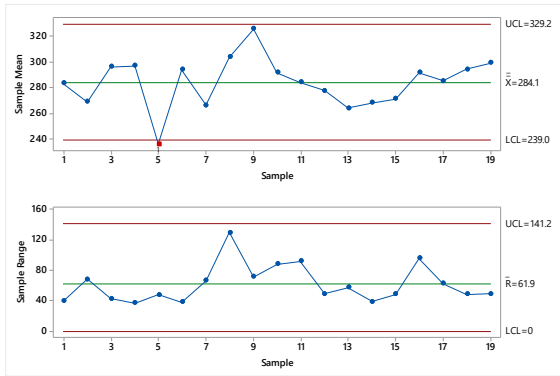


Gambar 5. Grafik Kendali  $\bar{X} - R$  Stiffness MD.

Berdasarkan gambar diatas menunjukkan karakteristik *stiffness* MD telah terkendali secara statistik.

6. Grafik Kendali  $\bar{X} - R$  Stiffness TD

Selanjutnya akan digunakan grafik kendali  $\bar{X} - R$  pada karakteristik *stiffness* TD sisi tengah (*center*) yang ditunjukkan pada gambar berikut,



Gambar 6. Grafik Kendali  $\bar{X} - R$  Stiffness TD

Berdasarkan gambar 4.22 menunjukkan karakteristik *stiffness* TD belum terkendali secara statistik. Tepatnya pada subgrup ke 5.

D. Grafik Kendali Fuzzy  $\tilde{X} - \tilde{R}$

Pada bagian ini akan dilakukan analisis menggunakan metode berbasis *fuzzy*  $\tilde{X} - \tilde{R}$  pada karakteristi *tensile strength*, *elongation*, dan *stiffness* secara *Machine Direction* (MD) dan *Transvers Direction* (TD). Metode ini digunakan karena pada karakteristik diamati pada tiga sisi yang berbeda di setiap pengamatannya, yaitu pada sisi kanan (*right*), sisi tengah (*center*), dan sisi kiri (*left*), sehingga memungkinkan terdapat kesamaran dalam menentukan status dari setiap subgrup (*in control / out of control*).

1. Grafik Kendali Fuzzy  $\tilde{X} - \tilde{R}$  Tensile Strength MD

Pada bagian ini akan dilakukan analisis pada karakteristik *tensile strength* MD menggunakan grafik kendali *fuzzy*  $\tilde{X} - \tilde{R}$ . Langkah pertama ialah pada setiap sisi pengamatan dilakukan pengurutan data, dimana  $X_a < X_b < X_c$  sehingga terbentuk TFN (*Triangular Fuzzy Number*).

Selanjutnya  $\bar{X}_{rj}$  dan  $R_{rj}$  dihitung berdasarkan persamaan (14), (32), kemudian  $\bar{X}_r$  dan  $\bar{R}_r$  dapat dihitung menggunakan persamaan (15), (31)

$$\bar{X}_r = (\bar{X}_a / \bar{X}_b / \bar{X}_c) = (12,75 / 13,08 / 13,37)$$

$$\bar{R}_r = (\bar{R}_a / \bar{R}_b / \bar{R}_c) = (0,69 / 1,20 / 1,87)$$

dengan menggunakan  $\bar{X}_r$  dan  $\bar{R}_r$  diatas, grafik kendali *fuzzy*  $\tilde{X}$  berbasis *triangular* dapat dihitung menggunakan persamaan (16), (17), (18) dimana  $A_2 = 0,729$  untuk  $n = 4$  yang didapatkan dari tabel grafik kendali variabel sebagai berikut,

$$\begin{aligned} \overline{UCL}_{\tilde{X}} &= (\bar{X}_a / \bar{X}_b / \bar{X}_c) + A_2(\bar{R}_a / \bar{R}_b / \bar{R}_c) \\ &= (13,26 / 13,96 / 14,74) \end{aligned}$$

$$\overline{CL}_{\tilde{X}} = (\bar{X}_a / \bar{X}_b / \bar{X}_c) = (12,75 / 13,08 / 13,37)$$

$$\begin{aligned} \overline{LCL}_{\tilde{X}} &= (\bar{X}_a / \bar{X}_b / \bar{X}_c) - A_2(\bar{R}_a / \bar{R}_b / \bar{R}_c) \\ &= (12,25 / 12,20 / 12,00) \end{aligned}$$

Perlu diperhatikan  $\alpha - Cut$  memiliki kemampuan untuk menentukan sensitifitas batas kendali, kemudian untuk mengitung parameter yang dipengaruhi nilai  $\alpha - Cut$  yaitu  $\bar{X}_a^{0,65}$  dan  $\bar{X}_c^{0,65}$  dapat dihitung menggunakan persamaan (19), (20) kemudian untuk menghitung  $\bar{R}_a^{0,65}$  dan  $\bar{R}_c^{0,65}$  dihitung menggunakan persamaan (24), (25)

$$\bar{X}_a^{0,65} = 12,97, \quad \bar{R}_a^{0,65} = 1,03$$

$$\bar{X}_c^{0,65} = 13,18, \quad \bar{R}_c^{0,65} = 1,44$$

kemudian batas grafik kendali  $\alpha - Cut$  Fuzzy  $\tilde{X}$  dapat dihitung menggunakan persamaan (21), (22), (23)

$$\begin{aligned} \overline{UCL}_{\tilde{X}}^{0,65} &= (\bar{X}_a^{0,65} / \bar{X}_b / \bar{X}_c^{0,65}) + A_2(\bar{R}_a^{0,65} / \bar{R}_b / \bar{R}_c^{0,65}) \\ &= (13,72 / 13,96 / 14,23) \end{aligned}$$

$$\overline{CL}_{\tilde{X}}^{0,65} = (\bar{X}_a^{0,65} / \bar{X}_b / \bar{X}_c^{0,65}) = (12,97 / 13,08 / 13,18)$$

$$\begin{aligned} \overline{LCL}_{\tilde{X}}^{0,65} &= (\bar{X}_a^{0,65} / \bar{X}_b / \bar{X}_c^{0,65}) - A_2(\bar{R}_a^{0,65} / \bar{R}_b / \bar{R}_c^{0,65}) \\ &= (13,72 / 13,96 / 14,23) \end{aligned}$$

Selanjutnya akan ditransformasikan dalam bentuk  $\alpha - Level$  Fuzzy *Midrange* untuk  $\alpha - Cut$  Fuzzy  $\tilde{X}$  seperti yang ditunjukkan pada persamaan (26), (27), (28) sehingga didapatkan batas kendali sebagai berikut,

$$UCL_{mr-\tilde{X}}^{0,65} = 13,98$$

$$CL_{mr-\tilde{X}}^{0,65} = 13,07$$

$$LCL_{mr-\tilde{X}}^{0,65} = 12,17$$

sedangkan untuk menghitung nilai statistik hasil transformasi atau  $S_{mr-\tilde{X},j}^{0,65}$  dapat dihitung menggunakan persamaan (29).

Misal pada subgrup ke-1, 2 dihitung sebagai berikut,

subgrup ke-1;

$$\begin{aligned} S_{mr-\tilde{X},1}^{0,65} &= \frac{(\bar{X}_{a1} + \bar{X}_{c1}) + \alpha[(\bar{X}_{b1} - \bar{X}_{a1})(\bar{X}_{c1} - \bar{X}_{b1})]}{2} \\ &= \frac{(13,30 + 13,93) + 0,65[(13,72 - 13,30)(13,93 - 13,72)]}{2} \\ &= 13,68 \end{aligned}$$

subgrup ke-2;

$$\begin{aligned} S_{mr-\tilde{X},2}^{0,65} &= \frac{(\bar{X}_{a2} + \bar{X}_{c2}) + \alpha[(\bar{X}_{b2} - \bar{X}_{a2})(\bar{X}_{c2} - \bar{X}_{b2})]}{2} \\ &= \frac{(13,01 + 13,63) + 0,65[(13,4 - 13,01)(13,63 - 13,4)]}{2} \\ &= 13,37 \end{aligned}$$

dan seterusnya hingga subgrup ke-19.

Selanjutnya untuk menghitung batas kendali *fuzzy*  $\tilde{R}$  dapat dihitung menggunakan persamaan (33), (34), (35)

$$\overline{UCL}_R = D_4(\bar{R}_a / \bar{R}_b / \bar{R}_c) = (1,59 / 2,75 / 4,28)$$

$$\overline{CL}_R = (\bar{R}_a / \bar{R}_b / \bar{R}_c) = (0,69 / 1,20 / 1,87)$$

$$\overline{LCL}_R = D_3(\bar{R}_a / \bar{R}_b / \bar{R}_c) = (0/0/0)$$

dimana diketahui  $D_4 = 2,282$  dan  $D_3 = 0$  untuk  $n = 4$  yang didapatkan berdasarkan table grafik kendali variabel.

Batas grafik kendali  $\alpha - Cut$  Fuzzy  $\tilde{R}$  dapat dihitung menggunakan persamaan (36), (37), (38)

$$\begin{aligned} \overline{UCL}_{\tilde{R}}^{0,65} &= D_4 \tilde{R}^{0,65} = D_4(\bar{R}_a^{0,65}, \bar{R}_b, \bar{R}_c^{0,65}) \\ &= (2,35 / 2,75 / 3,29) \end{aligned}$$

$$\overline{CL}_{\tilde{R}}^{0,65} = (\bar{R}_a^{0,65}, \bar{R}_b, \bar{R}_c^{0,65}) = (1,03 / 1,20 / 1,44)$$

$$\begin{aligned} \overline{LCL}_{\tilde{R}}^{0,65} &= D_3 \tilde{R}^{0,65} = D_3(\bar{R}_a^{0,65}, \bar{R}_b, \bar{R}_c^{0,65}) \\ &= (0/0/0) \end{aligned}$$

Selanjutnya akan ditransformasikan dalam bentuk  $\alpha - Level$  Fuzzy *Midrange* untuk  $\alpha - Cut$  Fuzzy  $\tilde{R}$  dapat dihitung menggunakan persamaan (39), (40), (41)

$$UCL_{mr-R}^\alpha = 2,82$$

$$CL_{mr-R}^\alpha = 1,23$$

$$LCL_{mr-R}^\alpha = 0$$



sedangkan untuk menghitung nilai statistik hasil transformasi atau  $S_{mr-R_j}^{0,65}$  dapat dihitung menggunakan persamaan (42). Misal pada subgrup ke-1, 2 dihitung sebagai berikut,

subgrup ke-1

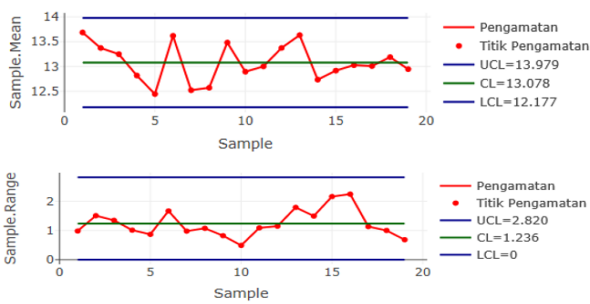
$$\begin{aligned}
 S_{mr-R.1}^{0,65} &= \frac{(R_{a1} + R_{c1}) + 0,65[(R_{b1} - R_{a1})(R_{c1} - R_{b1})]}{2} \\
 &= \frac{(0,49 + 1,37) + 0,65[(1,01 - 0,49)(1,37 - 1,01)]}{2} \\
 &= 0,98
 \end{aligned}$$

subgrup ke-2

$$\begin{aligned}
 S_{mr-R.2}^{0,65} &= \frac{(R_{a2} + R_{c2}) + 0,65[(R_{b2} - R_{a2})(R_{c2} - R_{b2})]}{2} \\
 &= \frac{(0,85 + 2,37) + 0,65[(1,45 - 0,85)(2,37 - 1,45)]}{2} \\
 &= 1,50
 \end{aligned}$$

dan seterusnya hingga subgrup ke-19.

Berikut ditunjukkan grafik kendali transformasi  $\alpha$ -Level Fuzzy Midrange untuk  $\alpha$ -Cut Fuzzy  $\tilde{\bar{X}}$  dan  $\alpha$ -Cut Fuzzy  $\tilde{R}$  pada setiap subgrup pengamatan beserta batas kendalnya,

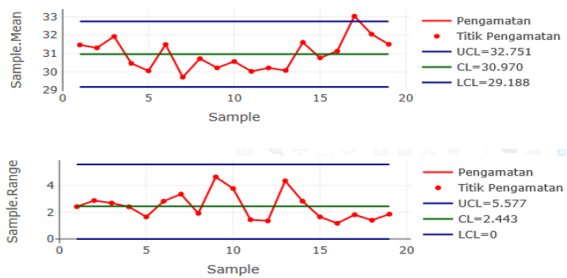


Gambar 7. Grafik Kendali Fuzzy  $\tilde{\bar{X}} - \tilde{R}$  Tensile Strength MD.

Berdasarkan gambar 10. Menunjukkan karakteristik kualitas *tensile strength* MD terkendali secara statistik.

2. Grafik Kendali Fuzzy  $\tilde{\bar{X}} - \tilde{R}$  Tensile Strength TD

Pada bagian ini karakteristik *tensile strength* TD juga akan dianalisis menggunakan metode berbasis fuzzy dengan transformasi. Langkah analisis sesuai pada bagian sebelumnya, sehingga grafik kendali transformasi  $\alpha$ -Level Fuzzy Midrange untuk  $\alpha$ -Cut Fuzzy  $\tilde{\bar{X}}$  dan  $\alpha$ -Cut Fuzzy  $\tilde{R}$



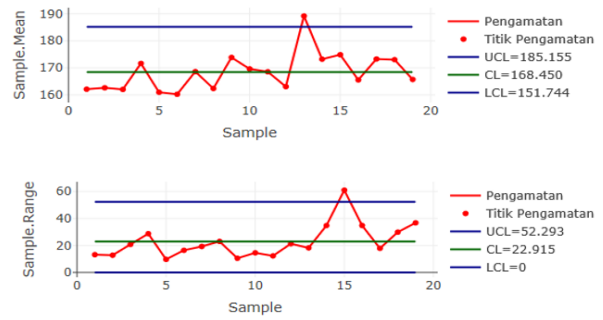
Gambar 8. Grafik Kendali Fuzzy  $\tilde{\bar{X}} - \tilde{R}$  Tensile Strength TD

Berdasarkan gambar 11 menunjukkan karakteristik kualitas *tensile strength* TD tidak terkendali secara statistik. Tepatnya pada pengamatan ke-17.

3. Grafik Kendali Fuzzy  $\tilde{\bar{X}} - \tilde{R}$  Elongation MD

Karakteristik *elongation* MD juga akan dianalisis menggunakan metode berbasis fuzzy dengan transformasi. Langkah analisis sesuai pada bagian sebelumnya, sehingga

grafik kendali transformasi  $\alpha$ -Cut Fuzzy  $\tilde{\bar{X}}$  dan  $\alpha$ -Cut Fuzzy  $\tilde{R}$  pada setiap subgrup pengamatan beserta batas kendalnya sebagai berikut,

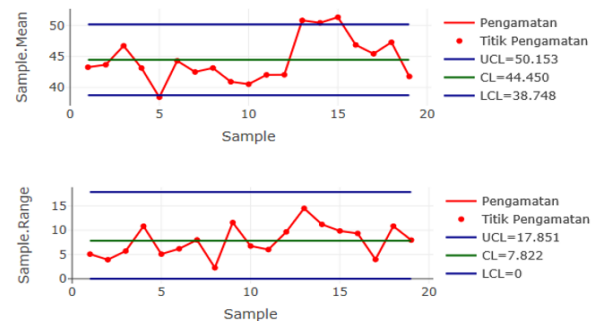


Gambar 9. Grafik Kendali Fuzzy  $\tilde{\bar{X}} - \tilde{R}$  Elongation MD.

Berdasarkan gambar 12. Menunjukkan karakteristik kualitas *elongation* MD tidak terkendali secara statistik, pada subgrup 13 dan 15 pengamatan keluar dari batas kendali.

4. Grafik Kendali Fuzzy  $\tilde{\bar{X}} - \tilde{R}$  Elongation TD

Pada bagian ini, karakteristik *elongation* TD juga akan dianalisis menggunakan grafik kendali fuzzy dengan transformasi. Langkah analisis sesuai pada bagian sebelumnya. grafik kendali transformasi  $\alpha$ -Level Fuzzy Midrange untuk  $\alpha$ -Cut Fuzzy  $\tilde{\bar{X}}$  dan  $\alpha$ -Cut Fuzzy  $\tilde{R}$  sebagai berikut,

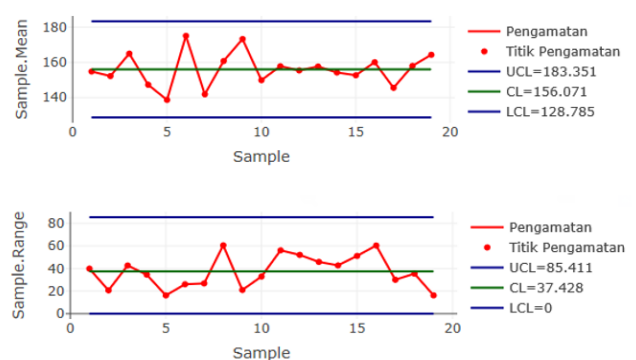


Gambar 10. Grafik Kendali Fuzzy  $\tilde{\bar{X}} - \tilde{R}$  Elongation TD.

Berdasarkan Gambar 10. Menunjukkan karakteristik kualitas *elongation* TD tidak terkendali, ditunjukkan subgrup ke-5, 13, 14, dan 15 keluar dari batas kendali.

5. Grafik Kendali Fuzzy  $\tilde{\bar{X}} - \tilde{R}$  Stiffness MD

Pada karakteristik *stiffness* MD dianalisis menggunakan metode berbasis fuzzy dengan transformasi, dengan langkah analisis sesuai pada bagian sebelumnya. Grafik kendali transformasi  $\alpha$ -Level Fuzzy Midrange untuk  $\alpha$ -Cut Fuzzy  $\tilde{\bar{X}}$  dan  $\alpha$ -Cut Fuzzy  $\tilde{R}$  sebagai berikut,

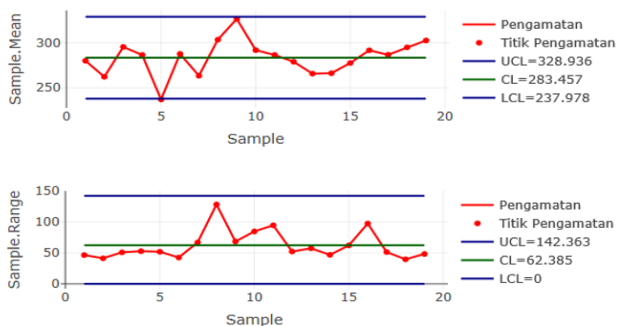


Gambar 11. Grafik Kendali Fuzzy  $\tilde{\bar{X}} - \tilde{R}$  Stiffness MD.

Berdasarkan Gambar 11 menunjukkan karakteristik kualitas *stiffness* MD telah terkendali secara statistik.

6. Grafik Kendali Fuzzy  $\tilde{X} - \tilde{R}$  Stiffness TD

Karakteristik kualitas *stiffness* TD juga akan dianalisis menggunakan metode berbasis *fuzzy* dengan transformasi. dengan langkah analisis sesuai pada bagian sebelumnya. Grafik kendali transformasi  $\alpha$ -Level Fuzzy Midrange untuk  $\alpha$  - Cut Fuzzy  $\tilde{X}$  dan  $\alpha$  - Cut Fuzzy  $\tilde{R}$  sebagai berikut,



Gambar 22. Grafik Kendali Fuzzy  $\tilde{X} - \tilde{R}$  Stiffness TD.

Berdasarkan Gambar 12. Menunjukkan karakteristik kualitas *stiffness* TD tidak terkendali, ditunjukkan subgrup ke 5 keluar dari batas kendali.

E. Perbedaan Grafik Kendali

Pada bagian ini akan ditunjukkan perbedaan antara grafik kendali  $\bar{X} - R$  dan grafik kendali *fuzzy*  $\tilde{X} - \tilde{R}$  yang ditunjukkan pada Table 13,

Grafik kendali  $\bar{X} - R$  memuat informasi mengenai pengamatan pada sisi tengah (*center*), dapat ditunjukkan pada karakteristik *tensile strength* dan *elongation* interval batas kendali  $\bar{X}$  dan R cenderung lebih luas namun tidak lebih baik dalam menangkap pengamatan yang berada diluar batas kendali.

Tabel 8. Perbandingan Grafik Kendali

No	Karakteristik	Metode	Interval X	Interval R	Out
1	<i>Tensile Strength</i> MD	<i>shewhart</i>	2,05041	3,20921	0
		<i>fuzzy</i>	1,80226	2,82082	0
2	<i>Tensile Strength</i> TD	<i>shewhart</i>	4,38090	6,85681	0
		<i>fuzzy</i>	3,56331	5,57714	1
3	<i>Elongation</i> MD	<i>shewhart</i>	34,3880	53,8227	1
		<i>fuzzy</i>	33,4108	52,2932	2
4	<i>Elongation</i> TD	<i>shewhart</i>	13,8123	21,6189	2
		<i>fuzzy</i>	11,4053	17,8511	4
5	<i>Stiffness</i> MD	<i>shewhart</i>	57,9631	90,7215	0
		<i>fuzzy</i>	54,5702	85,4110	0
6	<i>Stiffness</i> TD	<i>shewhart</i>	90,2348	141,231	1
		<i>fuzzy</i>	90,9577	142,363	1

Kemudian pada grafik kendali *fuzzy*  $\tilde{X} - \tilde{R}$  dengan memuat informasi pengamatan pada sisi kiri (*left*), kana (*right*), dan tengah (*center*), dapat ditunjukkan pada karakteristik *tensile strength* dan *elongation* interval  $\tilde{X}$  dan  $\tilde{R}$  cenderung lebih sempit dan lebih baik dalam menangkap pengamatan yang berada diluar batas kendali. Hal ini disebabkan variasi/keragaman antara sisi pengamatan cenderung kecil. Sedangkan pada karakteristik *stiffness* interval antar batas kendali lebih luas. Hal ini disebabkan metode *fuzzy* menangkap adanya variasi/keragaman antar sisi pengamatan yang cenderung besar.

Dapat disimpulkan metode *fuzzy* lebih sesuai digunakan bila terdapat kesamaran (pengambilan pengamatan pada sisi yang berbeda) karena metode ini lebih informatif dan dapat menggambarkan kondisi sesungguhnya pada proses produksi.

F. Proses Kapabilitas Berbasis Fuzzy

Pada bagian ini akan dilakukan analisis proses kapabilitas pada setiap karakteristik kualitas yaitu *tensile strength*, *elongation*, dan *stiffness* menggunakan metode berbasis *fuzzy*, namun sebelum itu perlu dilakukan penanganan kepada karakteristik yang pada bagian sebelumnya belum terkendali secara statistik. Langkah penanganan yang akan dilakukan adalah menghilangkan atau mengeleminasi subgrup yang tidak terkendali dari segi nilai rata-rata dan keragamannya (*range*). Selanjutnya akan digunakan batas spesifikasi yang telah ditentukan perusahaan setelah dipengaruhi oleh tingkat ketelitian ( $\alpha$ ), kemudian akan diestimasi standar deviasi menggunakan *range* yang telah ditemukan sebelumnya. Capabilitas proses berbasis *fuzzy* akan berbentuk interval.

1. Proses Kapabilitas Tensile Strength MD

Pada bagian ini akan dilakukan analisis proses kapabilitas berbasis *fuzzy* sehingga akan terbentuk dalam bentuk interval dengan langkah-langkah yang telah dijelaskan sebelumnya, pada karakteristik ini setiap subgrup telah terkendali secara statistik. Batas spesifikasi perusahaan pada karakteristik *tensile strength* MD sebagai berikut,

$$\text{Upper Specification Line (USL)} = 18$$

$$\text{Lower Specification Line (LSL)} = 11$$

Misalkan USL dan LSL didefinisikan masing-masing “mendekati 18” dan “mendekati 11”. Maka batas spesifikasi dapat diubah ke bentuk *triangular fuzzy number* (TFN)

$$\tilde{USL} = \text{TFN}(17,99 ; 18 ; 18,01)$$

$$\tilde{LSL} = \text{TFN}(10,99 ; 11 ; 11,01)$$

selanjutnya dihitung sesuai tingkat ketelitian ( $\alpha = 0,65$ ) menggunakan persamaan (44), (45)

$$\tilde{USL}(0,65) = \text{TFN}(17,9965 ; 18 ; 18,0035)$$

$$\tilde{LSL}(0,65) = \text{TFN}(10,9965 ; 11 ; 11,0035).$$

Kemudian pada sub bab sebelumnya diketahui parameter  $\bar{R}_r$  sehingga keragaman proses ( $\tilde{\sigma}$ ) dapat diestimasi menggunakan persamaan (47) diaman  $d_2 = 2,059$  ( $n = 4$ ) sebagai berikut,

$$\tilde{\sigma} = (0,33 / 0,58 / 0,91)$$

selanjutnya dengan tingkat ketelitian ( $\alpha$ ) dapat dibentuk  $\hat{\sigma}_a(\alpha)$  dan  $\hat{\sigma}_c(\alpha)$  menggunakan persamaan (50), (51) sebagai berikut,

$$\hat{\sigma}_a(\alpha) = 0,500281179$$

$$\hat{\sigma}_c(\alpha) = 0,700416656.$$

Sehingga proses kapabilitas berbasis *fuzzy* dapat dihitung menggunakan persamaan (53) sebagai berikut,

$$\tilde{C}_p(\alpha) = \text{TFN}(1,66401 ; 1,98699 ; 2,33435)$$

untuk menghitung indeks lainnya terlebih dahulu dihitung  $\mu_a^{0,65}$  dan  $\mu_c^{0,65}$  menggunakan persamaan (48), (49). Selanjutnya indeks lainnya dapat dihitung menggunakan persamaan (54), (55), (56) yang ditunjukkan berdasarkan Tabel 15,

Berdasarkan tabel 15 menunjukkan proses kapabilitas *tensile strength* MD sudah cukup kapabel namun rata-rata



proses menyimpang dari nilai targetnya, rata-rata proses lebih cenderung mendekati batas spesifikasi bawah (LSL).

Tabel 9.

Parameter Proses Kapabilitas Tensile Strength MD			
Parameters	TFN		
$\tilde{C}_p(\alpha)$	1.6640095	1.9869903	2.3343539
$\tilde{C}_{pu}(\alpha)$	2.2892107	2.790078	3.3532678
$\tilde{C}_{pl}(\alpha)$	0.9362378	1.1839026	1.4590435
$\tilde{C}_{pk}(\alpha)$	0.9362378	1.1839026	1.4590435

2. Proses Kapabilitas Tensile Strength TD

Pada bagian akan sedikit berbeda dengan bagian sebelumnya. Karakteristik *tensile strength* TD masih belum terkendali secara statistik, tepatnya pada subgrup 17 pengamatan keluar dari batas control sehingga akan ditangani terlebih dahulu. Selanjutnya proses penentuan proses kapabilitasnya akan sama dengan karakteristik sebelumnya. Batas spesifikasi perusahaan pada karakteristik *tensile strength* TD sebagai berikut,

Upper Specification Line (USL) = 40

Lower Specification Line (LSL) = 22

Sehingga indeks proses kapabilitas berbasis *fuzzy* ditunjukkan pada Tabel 16,

Tabel 10.

Parameter Proses Kapabilitas Tensile Strength TD			
Parameters	TFN		
$\tilde{C}_p(\alpha)$	1.8550382	2.5183692	3.7922075
$\tilde{C}_{pu}(\alpha)$	1.7989001	2.551209	4.0287159
$\tilde{C}_{pl}(\alpha)$	1.7392551	2.4855294	3.9068801
$\tilde{C}_{pk}(\alpha)$	1.7392551	2.4855294	3.9068801

Berdasarkan Tabel 16 menunjukkan proses kapabilitas *tensile strength* TD sudah cukup kapabel namun rata-rata proses menyimpang dari nilai targetnya, rata-rata proses lebih cenderung mendekati batas spesifikasi bawah (LSL) sehingga dapat diperhatikan nilai  $\tilde{C}_{pk}(\alpha)$ .

3. Proses Kapabilitas Elongation MD

Karakteristik *elongation* MD masih belum terkendali secara statistik tepatnya pada subgrup 13 dan 15, pengamatan keluar dari batas control sehingga akan ditangani terlebih dahulu. Selanjutnya proses penentuan proses kapabilitasnya akan sama dengan karakteristik lainnya. Batas spesifikasi perusahaan pada karakteristik *elongation* MD sebagai berikut,

Upper Specification Line (USL) = 240

Lower Specification Line (LSL) = 120

Sehingga indeks proses kapabilitas berbasis *fuzzy* ditunjukkan pada tabel sebagai berikut,

Tabel 11.

Parameter Proses Kapabilitas Elongation MD			
Parameters	TFN		
$\tilde{C}_p(\alpha)$	1.6549758	1.9438012	2.4186403
$\tilde{C}_{pu}(\alpha)$	1.9624776	2.3646627	3.0290944
$\tilde{C}_{pl}(\alpha)$	1.2372185	1.5229397	1.9692986
$\tilde{C}_{pk}(\alpha)$	1.2372185	1.5229397	1.9692986

Berdasarkan Tabel 17 menunjukkan proses kapabilitas *elongation* MD sudah cukup kapabel, namun rata-rata proses menyimpang dari nilai targetnya, rata-rata proses lebih cenderung mendekati batas spesifikasi bawah (LSL) sehingga dapat diperhatikan nilai  $\tilde{C}_{pk}(\alpha)$ .

4. Proses Kapabilitas Elongation TD

Karakteristik *elongation* TD masih belum terkendali secara statistik tepatnya pada subgrup 5, 13, 14 dan 15, pengamatan keluar dari batas control sehingga akan ditangani terlebih dahulu. Selanjutnya proses penentuan proses kapabilitasnya akan sama dengan karakteristik lainnya. Batas spesifikasi perusahaan pada karakteristik *elongation* TD sebagai berikut,

Upper Specification Line (USL) = 90

Lower Specification Line (LSL) = 30

Sehingga indeks proses kapabilitas berbasis *fuzzy* ditunjukkan pada tabel sebagai berikut,

Tabel 12.

Parameter Proses Kapabilitas Elongation TD			
Parameters	TFN		
$\tilde{C}_p(\alpha)$	2.1007539	2.9169815	4.4743072
$\tilde{C}_{pu}(\alpha)$	3.1615371	4.5240438	7.114811
$\tilde{C}_{pl}(\alpha)$	0.8607087	1.3099192	2.2155166
$\tilde{C}_{pk}(\alpha)$	0.8607087	1.3099192	2.2155166

Berdasarkan Tabel 18 menunjukkan proses kapabilitas *Elongation* TD cukup kapabel namun proses kapabilitas eksisting masih kurang baik karena masih berbeda jauh dengan kemampuan sesungguhnya yang ditunjukkan oleh  $\tilde{C}_p(\alpha)$ . Namun perlu diperhatikan bahwa pada karakteristik ini terdapat empat subgrup yang dieleminasi sehingga nilai kapabilitas berkemungkinan untuk bias.

5. Proses Kapabilitas Stiffness MD

Pada karakteristik ini setiap subgrup telah terkendali secara statistik. Batas spesifikasi perusahaan pada karakteristik *stiffness* MD sebagai berikut,

Upper Specification Line (USL) = 180

Lower Specification Line (LSL) = 120

Sehingga indeks proses kapabilitas berbasis *fuzzy* ditunjukkan pada Tabel 19,

Berdasarkan tabel 19 menunjukkan proses kapabilitas *stiffness* MD tidak kapabel serta rata-rata proses menyimpang dari nilai targetnya, kapabilitas lebih cenderung mendekati batas spesifikasi atas (USL). Setiap subgrup telah terkendali namun proses tidak kapabel, hal ini diduga karena keragaman pengamatan terlalu besar. Sehingga dapat disimpulkan karakteristik *stiffness* MD tidak presisi dan perlu dilakukan perbaikan.

Tabel 13.

Parameter Proses Kapabilitas Stiffness MD			
Parameters	TFN		
$\tilde{C}_p(\alpha)$	0.4952971	0.5410627	0.6185738
$\tilde{C}_{pu}(\alpha)$	0.3607606	0.4288278	0.5362261
$\tilde{C}_{pl}(\alpha)$	0.5612489	0.6532977	0.7865565
$\tilde{C}_{pk}(\alpha)$	0.3607606	0.4288278	0.5362261

6. Proses Kapabilitas Stiffness TD

Karakteristik *stiffness* TD masih belum terkendali secara statistik tepatnya pada subgrup 5. Batas spesifikasi perusahaan pada karakteristik *stiffness* TD sebagai berikut,

Upper Specification Line (USL) = 300

Lower Specification Line (LSL) = 210

Sehingga indeks proses kapabilitas berbasis *fuzzy* ditunjukkan pada Tabel 20,

Berdasarkan Tabel 20 menunjukkan proses kapabilitas *stiffness* TD tidak kapabel rata-rata proses menyimpang dari nilai targetnya, kapabilitas lebih cenderung mendekati batas

spesifikasi atas (USL) sehingga dapat diperhatikan nilai  $\tilde{C}_{pk}(\alpha)$ . nilai kapabilitas sangat buruk, diduga karakteristik tidak akurat dan tidak presisi. Sehingga sangat diperlukan penanganan.

Tabel 14.  
Parameter Proses Kapabilitas *Stiffness* TD

Parameters	TFN		
$\tilde{C}_p(\alpha)$	0.4528585	0.4943006	0.5349672
$\tilde{C}_{pu}(\alpha)$	0.1135509	0.1509966	0.1979921
$\tilde{C}_{pl}(\alpha)$	0.7381578	0.8376046	0.9357331
$\tilde{C}_{pk}(\alpha)$	0.1135509	0.1509966	0.1979921

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Grafik kendali  $\bar{X} - R$  pada karakteristik *elongation* MD, *elongation* TD, dan *stiffness* TD belum terkendali secara statistik. Terdapat subgrup yang berada diluar batas kendali.
2. Grafik kendali fuzzy  $\tilde{\bar{X}} - \tilde{R}$  pada karakteristik *tensile strength* TD, *elongation* MD, *elongation* TD, dan *stiffness* TD belum terkendali secara statistik karena terdapat subgrup yang berada diluar batas kendali. Kemudian grafik kendali fuzzy lebih sesuai digunakan ketika terdapat kesamaran (pengamatan pada sisi yang berbeda) karena lebih informatif.
3. Proses kapabilitas setiap karakteristik cenderung sudah kapabel kecuali pada karakteristik *stiffness* MD dan *stiffness* TD. Kedua karakteristik memiliki kapabilitas yang rendah, diduga akibat akurasi dan presisi yang buruk sehingga perlu dilakukan perbaikan atau peninjauan kembali.

### B. Saran

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang telah

dila-kukan, maka saran yang dapat diberikan sebagai berikut:

1. Metode yang digunakan masih ditinjau secara univariate, sehingga untuk penelitian selanjutnya disarankan untuk meninjau secara multivariate.
2. Pada penelitian ini juga tidak diamati penyebab kurang kapabelnya proses pada karakteristik tertentu.
3. Pada karakteristik *stiffness* MD dan *stiffness* TD ditunjukkan proses produksi tidak kapabel sehingga perlu dilakukan proses perbaikan atau peninjauan kembali untuk meningkatkan kualitas dan mengurangi kerugian akibat kecacatan produk.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Montgomery and C. Douglas, *Introduction to Statistical Quality Control*, 6th ed. USA: John Wiley & Sons Inc, 2009.
- [2] C. Kahraman, *Multi-criteria decision making methods and fuzzy sets*, C. Kahrama. Berlin: Springer, 2008.
- [3] S. Senturk and N. Erginel, "Development of Fuzzy X-R and X-S Control charts using a-cuts," *Inf. Sci.*, pp. 1542-1541, 2009.
- [4] R. Pradini, "Penerapan Diagram Fuzzy U Pada Pengontrolan Kualitas Produk Kaca Automotive Tipe Laminated," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2016.
- [5] H. Septiani, "Pengendalian Kualitas Produksi Grey C1016 Di PT. APAC INTI CORPORA menggunakan Peta Kendali Fuzzy C," Surabaya, 2018.
- [6] A. Faraz and B. Moghdam, "Fuzzy Control Chart A Better Alternative for Shewhart Average Chart," *Qual. Quant.*, vol. 41, pp. 375-385, 2007.
- [7] A. Zadeh, "Fuzzy Sets," *Inf. Control*, vol. 8, pp. 338-359, 1965.
- [8] E. James, *Pengantar Six Sigma*. Jakarta: Salemba Empat, 2007.
- [9] C. Kahraman and I. Kaya, "Process Capability Analyses with Fuzzy Parameters," *Expert Syst. with Appl.*, pp. 11918-11927, 2011.
- [10] S. Kotz and N. Johnson, "Process Capability Indices - A review 1992-2000," *J. Qual. Tecknology*, vol. 34, pp. 2-19, 2002.
- [11] C. Tsai and C. C. Chen, "Making decision to evaluate process capability index Cp with fuzzy number," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 30, pp. 334-339, 2006.