

PENERAPAN METODE *POISSON EXPONENTIALLY WEIGHTED MOVING AVERAGE* (PEWMA) UNTUK MEMBUAT BAGAN PENGENDALI VARIABEL BERDISTRIBUSI *POISSON*

Nida Adelia*, Mustafid, Dwi Ispriyanti

Departemen Statistika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro

*e-mail : nidaadelia@students.undip.ac.id

DOI: 10.14710/j.gauss.12.1.71-80

Article Info:

Received: 2022-09-23

Accepted: 2022-11-28

Available Online: 2023-05-04

Keywords:

Aircraft accidents; Poisson; PEWMA; Control chart; ARL.

Abstract: Airplane is a mode of transportation that has an accident risk. Aircraft accidents are recorded to occur almost every year in Indonesia. The Poisson distribution is used to model the number of aircraft accidents that occur each year because they have a fixed time and independent. Statistical quality control is applied as a method to monitor the number of fatal aircraft accidents in Indonesia that are within control limits. One method to carry out quality control is to use a control chart. This study aims to apply the Poisson Exponentially Weighted Moving Average (PEWMA) method to create a control chart with a case study of the number of fatal airplane accidents in Indonesia from 1962 to 2021 with a Poisson distribution. The EWMA control chart is used to monitor the average or process variability and is considered effective in detecting small shifts in the process (the shift is said to be small if the shift is less than 1.5σ). The calculation of Average Run Length (ARL) is performed to test the performance of the PEWMA control chart. Control charts with smaller out-of-control ARLs are considered superior and can detect process shifts more quickly than other control charts. Based on the results of the calculation of the ARL value, it was found that the weight of 0.3 is the optimal weight with the smallest ARL value of 1.138 which is able to describe the state of the data on fatal aircraft accidents in Indonesia. The control chart with the optimal weight shows the data on fatal aircraft accidents in Indonesia that are tolerated equal to one.

1. PENDAHULUAN

Keselamatan penerbangan adalah faktor utama dalam pengoperasian pesawat terbang, namun musibah kadang kala tidak dapat dihindarkan. Kecelakaan yang dialami pesawat udara mengakibatkan masalah besar karena menyebabkan kehilangan dan kerugian yang menyangkut nyawa manusia dan ekonomi (Alevizakos & Koukouvinos, 2019). Oleh karena itu, dalam usaha untuk mengurangi kecelakaan fatal pesawat udara yang ada di Indonesia, dibutuhkan adanya semacam pengendalian statistik agar selanjutnya dapat dipelajari lebih dalam mengenai faktor penyebab hingga menemukan langkah pencegahan. Bagan pengendali digunakan sebagai pengendalian kualitas statistik untuk mengetahui angka kecelakaan fatal pesawat udara di Indonesia masih dalam batas kontrol atau tidak.

Salah satu metode bagan pengendali yang efektif dalam mendeteksi pergeseran kecil dalam proses (pergeseran dikatakan kecil jika besar pergeseran kurang dari $1,5\sigma$) adalah bagan pengendali *Exponentially Weighted Moving Average* (EWMA) (Montgomery, 2009). Distribusi *Poisson* tidak hanya dapat digunakan untuk memodelkan jumlah ketidaksesuaian atau cacat dalam satu unit produksi, tetapi juga jumlah kecelakaan pesawat dalam waktu yang tetap

(Alevizakos & Koukouvinos, 2019). Beberapa penelitian terkait pengaplikasian diagram pengendali EWMA pada kasus data berdistribusi *Poisson* yang telah dilakukan sebelumnya antara lain adalah penelitian oleh Olanrewaju *et al.* (2017), Alevizakos & Koukouvinos (2019), dan Alevizakos *et al.* (2021). Ketiga penelitian tersebut membandingkan kinerja penerapan bagan pengendali PEWMA dengan bagan kendali lainnya yang diterapkan pada data kecelakaan.

Metode *Poisson Exponentially Weighted Moving Average* (PEWMA) diterapkan dalam penelitian ini untuk membuat bagan pengendali dari data kecelakaan pesawat fatal di Indonesia per tahun yang berdistribusi *Poisson*. Nilai *Average Run Length* (ARL) digunakan untuk menentukan bobot optimal dari bagan pengendali.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Kecelakaan pesawat udara (*accident*) adalah suatu kejadian yang berhubungan dengan pengoperasian pesawat udara yang terjadi sejak seseorang naik pesawat udara untuk maksud penerbangan sampai suatu waktu ketika semua orang telah meninggalkan (turun dari) atau keluar dari pesawat udara (ICAO, 2001). Kategori kecelakaan pesawat udara lainnya berdasarkan standar Aviation Safety Network adalah sebagai berikut:

- a. *Hijack* (pembajakan). Sebuah perampasan ilegal atau penyalahgunaan pengendalian atas pesawat atau awaknya.
- b. *Incident*. Kejadian selain kecelakaan terkait dengan pengoperasian pesawat udara yang memengaruhi atau dapat memengaruhi keselamatan atas pengoperasian tersebut (ICAO, 2001).
- c. *Other occurrence* (kejadian lainnya). Kejadian yang tidak dapat didefinisikan sebagai ‘*accident*’ atau ‘*incident*’. Kasus ini biasanya melibatkan pesawat yang rusak di darat akibat angin topan, sabotase, kebakaran hanggar, atau yang lainnya.
- d. *Unfiled occurrence* (kejadian yang tidak diarsipkan). Kejadian yang tidak dapat ditentukan dengan tepat jenisnya karena kurangnya informasi yang tersedia.

Uji Distribusi *Poisson* dilakukan untuk melihat data mengikuti distribusi *Poisson*. Asumsi data berdistribusi *Poisson* harus dipenuhi untuk dapat mengevaluasi proses menggunakan bagan pengendali *Poisson Exponentially Weighted Moving Average* (PEWMA) (Sari *et al.*, 2020).

Hipotesis yang digunakan.

H_0 : data berdistribusi *Poisson*

H_1 : data tidak berdistribusi *Poisson*

Statistika uji yang digunakan adalah:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad (1)$$

dengan k adalah banyaknya kategori, o_i adalah nilai pengamatan untuk kategori ke- i , dan E_i adalah nilai yang diharapkan atau ekspektasi untuk kategori ke- i . Keputusan H_0 diterima pada taraf nyata α apabila $\chi^2 < \chi^2_{tabel(k-1)}$ atau $p\text{-value} > \alpha$ yang artinya bahwa data berdistribusi *Poisson*.

Bagan pengendali adalah teknik pengendali yang efektif untuk mengurangi variasi sebab-sebab terduga sebanyak mungkin untuk menghasilkan proses yang optimal. Bagan pengendali dapat digunakan untuk menaksir parameter dan menentukan kemampuan suatu proses (Montgomery, 1990). Bagan pengendali *Exponentially Weighted Moving Average* (EWMA) adalah sebuah grafik yang digunakan untuk monitoring suatu rata-rata ataupun variabilitas proses. Bagan pengendali PEWMA digunakan untuk memantau data proses bentuk data atribut yang dimodelkan dengan distribusi *Poisson*. Data ketidaksesuaian yang berulang diambil dari urutan kualitas ukuran X_1, X_2, \dots, X_n dengan asumsi X_1, X_2, \dots, X_n merupakan variabel acak *Poisson* yang saling bebas dan identik dengan rata-rata μ . Pemantauan proses dilakukan dengan bagan pengendali PEWMA. Proses dianggap dalam kontrol ketika $\mu = \mu_0$ dan berada di luar kontrol ketika $\mu \neq \mu_0$ (Borror *et al.*, 1998).

$$Z_t = \lambda \bar{X}_t + (1 - \lambda)Z_{t-1} \quad , t = 1, 2, 3, \dots, n \quad (2)$$

dengan $Z_0 =$ nilai awal, nilai yang diharapkan pada hasil proses dimana nilainya dapat berasal dari penetapan sebelumnya sebagai nilai target $Z_t = \mu_0$ dengan μ_0 adalah rata-rata dari proses *Poisson*. Berdasarkan persamaan tersebut, rata-rata dan varian PEWMA masing-masing adalah:

$$E(Z_t) = \mu_0 \quad (3)$$

dan

$$Var(Z_t) = \frac{\lambda}{2-\lambda} [1 - (1 - \lambda)^{2t}] \mu_0 \quad (4)$$

Sehingga batas-batas kendali *Center Line* (CL), *Upper Control Limit* (UCL) dan *Lower Control Limit* (LCL) dari bagan pengendali PEWMA adalah

$$UCL = \mu_0 + L_2 \sqrt{Var(Z_t)} \quad (5)$$

$$CL = \mu_0 \quad (6)$$

$$LCL = \mu_0 - L_1 \sqrt{Var(Z_t)} \quad (7)$$

dengan μ_0 adalah rata-rata, L_1 adalah jarak batas kendali bawah dari garis tengah, dan L_2 adalah jarak batas kendali atas dari garis tengah. Proses dianggap tidak terkendali jika satu atau lebih nilai Z_t melebihi batas kendali. Nilai L merupakan pengali batas kontrol dipilih untuk memberikan pemantauan kinerja yang diinginkan dari grafik PEWMA untuk bobot λ yang diberikan (Abujiya *et al.*, 2016).

Average Run Length (ARL) mewakili jumlah data yang berada antara batas kendali bawah dan batas kendali atas pada peta kendali sebelum *out of control*. Grafik dengan ARL *out of control* yang lebih kecil dianggap lebih unggul dan dapat mendeteksi pergeseran proses lebih cepat daripada grafik kontrol lainnya (Abujiya *et al.*, 2013).

Terdapat pembagian interval diantara nilai UCL dan LCL untuk menentukan nilai ARL sebanyak N subinterval dimana $N = 2m + 1$. Subinterval ke- j adalah L_j, U_j dimana:

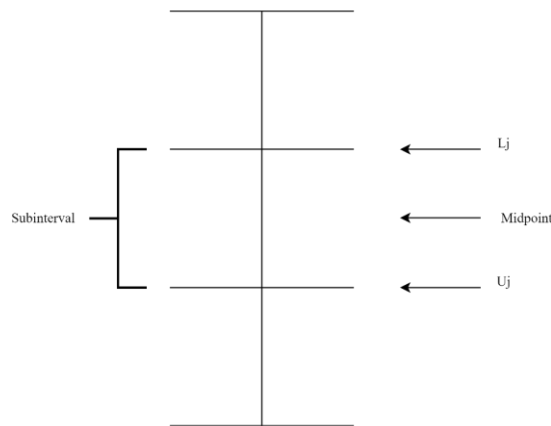
$$L_j = LCL + \frac{(j-1)(UCL-LCL)}{N} \quad (8)$$

$$U_j = LCL + \frac{j(UCL-LCL)}{2N} \quad (9)$$

Titik tengah m_i pada subinterval ke- i dapat dituliskan:

$$m_i = LCL + \frac{(2i-1)(UCL-LCL)}{2N} \quad (10)$$

Kondisi ke-($N+1$) merupakan kondisi dimana proses dihentikan ketika terdapat data cacat atau kecelakaan diluar kendali atas dan bawah batas kendali. Data cacat *in-control* dalam proses tersebut adalah ARL. Subinterval yang dimaksud memiliki batas atas L_j dan batas bawah U_j serta m sebagai titik tengahnya atau *midpoint* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Wilayah dalam kendali terbagi menjadi N subinterval

Berdasarkan informasi tersebut akan ditentukan matriks peluang transisi dengan menggunakan matriks \mathbf{Q} . Elemen matriks \mathbf{Q} untuk baris dan kolom ditandai sesuai dengan banyaknya N . Sehingga matriks $\mathbf{Q} = [Q_{ij}]$ berukuran $N \times N$ akan berisi elemen seperti dibawah ini:

$$\mathbf{Q} = \begin{pmatrix} Q_{1,1} & Q_{1,2} & Q_{1,3} & \dots & Q_{1,N} \\ Q_{2,1} & Q_{2,2} & Q_{2,3} & \dots & Q_{2,N} \\ Q_{3,1} & Q_{3,2} & Q_{3,3} & \dots & Q_{3,N} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Q_{N,1} & Q_{N,2} & Q_{N,3} & \dots & Q_{N,N} \end{pmatrix}$$

dengan sub-matriks $\mathbf{Q} = [Q_{ij}]$ dan dengan probabilitas transisi P yang merupakan probabilitas perpindahan dari keadaan i ke keadaan j dinyatakan dengan:

$$\begin{aligned} Q_{ij} &= P(L_j < \lambda X_t + (1 - \lambda)Z_{t-1} < U_j | Z_{t-1} = m_i) \\ Q_{ij} &= P(L_j < \lambda X_t + (1 - \lambda)m_i < U_j) \end{aligned} \quad (11)$$

Misalkan Q adalah matriks yang diperoleh dari matriks transisi di antara keadaan-keadaan dalam kendali. Brook dan Evans (1972) menunjukkan bahwa vektor ARL R adalah solusi dari sistem:

$$(I - Q)R = \mathbf{1} \quad (12)$$

Sehingga nilai R atau sama dengan nilai ARL dapat dihitung dengan:

$$ARL = (I - Q)^{-1}\mathbf{1} \quad (13)$$

I adalah matriks identitas berukuran $N \times N$ dan $\mathbf{1}$ merupakan vektor kolom berukuran $N \times 1$ dengan semua elemennya adalah 1.

3. METODE PENELITIAN

Data yang digunakan merupakan data sekunder yang diperoleh melalui *database Aviation Safety Network*. Variabel yang diamati adalah jumlah kecelakaan pesawat fatal yang terjadi di Indonesia yang terdiri dari 59 data dari tahun 1962 sampai dengan tahun 2021. Langkah-langkah untuk melakukan analisis adalah dengan memasukkan data kecelakaan pesawat fatal yang terjadi di Indonesia. Kemudian dilakukan uji kecocokan distribusi dengan menggunakan uji *Chi-Square* dan diperoleh bahwa variabel berdistribusi *Poisson*. Setelah itu, dilakukan penentuan nilai bobot (λ) dan dilakukan pemberian nilai bobot tersebut pada data X_t sehingga menjadi Z_t .

Setelah data sudah diberikan nilai bobot, dilanjutkan dengan menentukan nilai L . Selanjutnya dilakukan penghitungan UCL dan LCL agar kemudian dapat dibentuk bagan pengendali dengan batas-batas dan bobot yang telah didapat sebelumnya. Pada penelitian ini digunakan bobot (λ) 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; dan 0,5. Setelah itu, dilakukan perhitungan ARL dari bagan pengendali masing-masing bobot. Terakhir, dilakukan pemeriksaan grafik pengendali PEWMA apakah terdapat plot di luar batas pengendali atau terdapat pola yang tidak random. Bagan pengendali dengan nilai ARL terkecil adalah bagan pengendali dengan bobot yang optimal.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data kecelakaan pesawat fatal di Indonesia per tahun yang berdistribusi *Poisson*. Data tersebut merupakan data sekunder yang diambil dari *database Aviation Safety Network* dan terdiri dari 59 data dari tahun 1962 sampai dengan tahun 2021.

Uji ini menggunakan *Goodness of Fit Test* dengan *Chi-Square* untuk distribusi *Poisson* dengan hipotesis sebagai berikut:

H_0 : data kecelakaan pesawat fatal di Indonesia berdistribusi *Poisson*

H_1 : data kecelakaan pesawat fatal di Indonesia tidak berdistribusi *Poisson*

Taraf signifikansi: $\alpha = 0.05$

Statistika uji:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} = 6,9095; \quad p\text{-value} = 0,4384$$

Pada taraf signifikansi $\alpha = 5\%$, H_0 diterima karena nilai $x^2 = 6,9095 < x^2_{table(58)} = 76,7778$ dan $p\text{-value} = 0,4384 > \alpha = 0,05$. Maka dapat disimpulkan bahwa data kecelakaan pesawat fatal di Indonesia berdistribusi *Poisson*.

Pemberian nilai bobot (λ) dilakukan pada data pengamatan yaitu data kecelakaan pesawat fatal yang terjadi di Indonesia. Nilai bobot (λ) yang digunakan adalah 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; dan 0,5. Pemberian bobot untuk data angka kecelakaan pesawat pada pengamatan ke-1 ($t=1$) dengan bobot 0,1 ($\lambda=0,1$) adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Z_1 &= \lambda X_1 + (1 - \lambda)Z_{1-1} \\ &= \lambda X_1 + (1 - \lambda)Z_0 \\ &= (0,1)(1) + (1 - 0,1)2,0339 \\ &= 1,93051 \end{aligned}$$

Kemudian perhitungan nilai Z dilanjutkan sampai pada nilai pengamatan ke-59 ($t = 59$) dengan bobot 0,1 sampai bobot 0,5 ($\lambda = 0,1$; $\lambda = 0,2$; $\lambda = 0,3$; $\lambda = 0,4$; $\lambda = 0,5$).

Nilai batas-batas pengendali dihitung untuk membuat bagan pengendali. Nilai bobot λ dan jarak batas kendali dari garis tengah (L) ditentukan terlebih dahulu untuk mendapatkan nilai batas pengendali. Nilai L ditentukan berdasarkan penelitian sebelumnya oleh Alevizakos dan Koukovinos (2019) dan Alevizakos *et al.* (2021). Dengan nilai $\mu_0 = 2,03$, $\lambda = 0,1$ dan $L = 2,5$. Maka diperoleh batas-batas kendalinya sebagai berikut:

Untuk Z_1 :

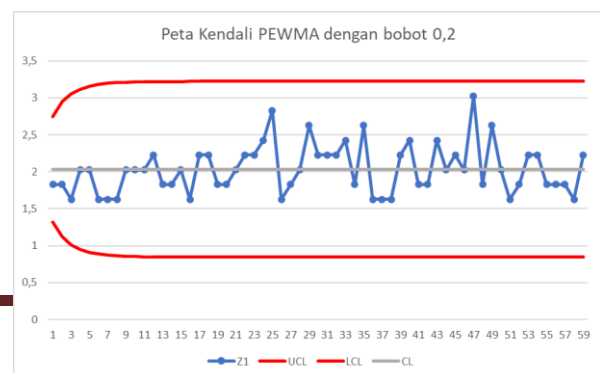
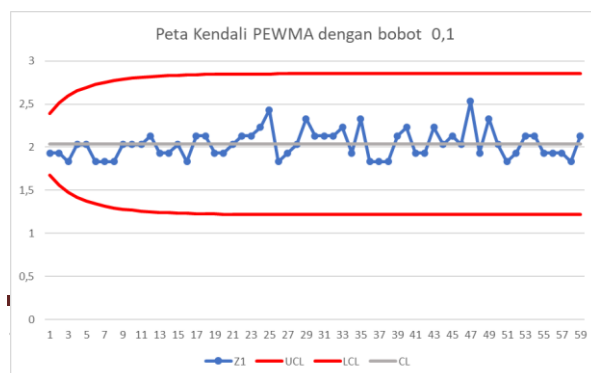
$$\begin{aligned} Var(Z_1) &= \frac{\lambda}{2 - \lambda} [1 - (1 - \lambda)^{2(1)}] \mu_0 \\ &= \frac{0,1}{2 - 0,1} [1 - (1 - 0,1)^{2(1)}] 2,03 = 0,02034 \end{aligned}$$

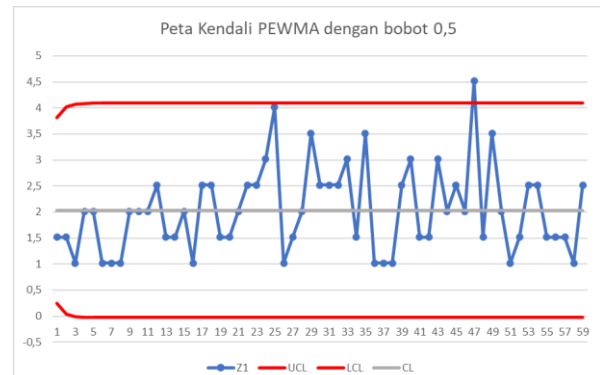
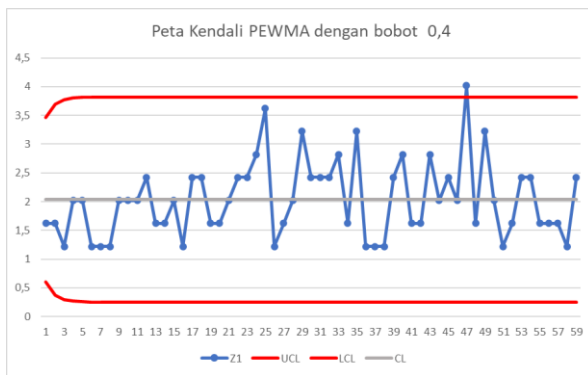
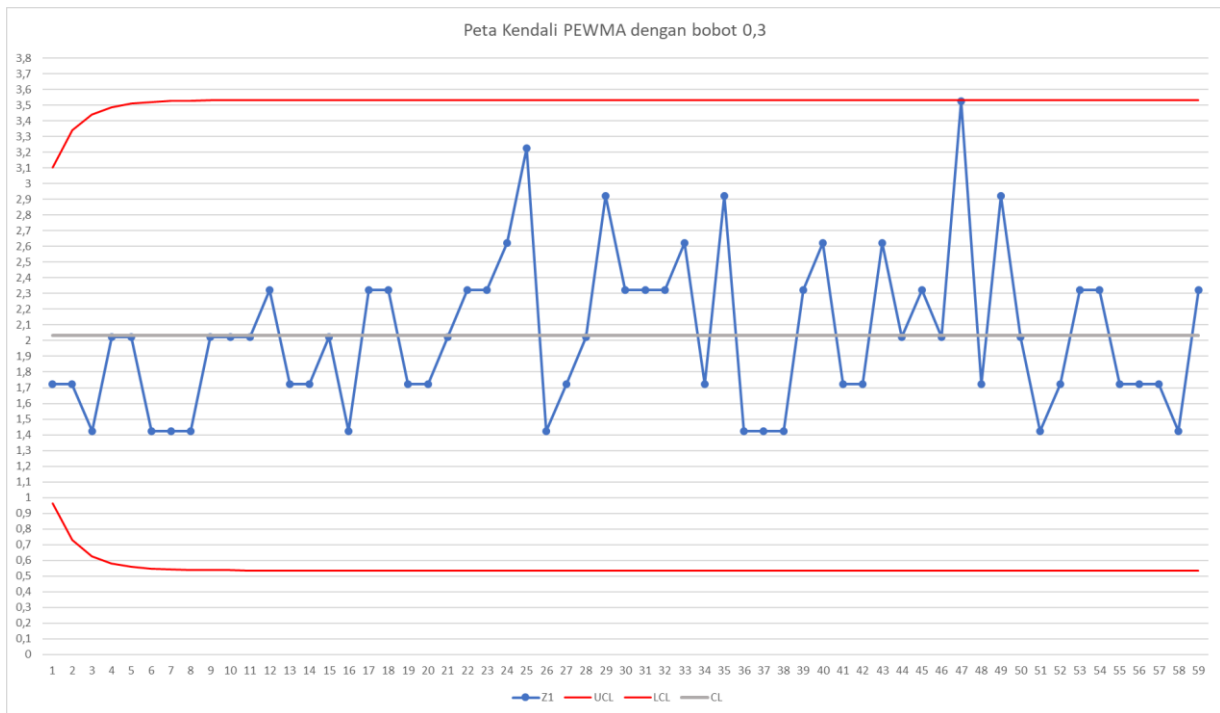
$$\begin{aligned} UCL &= \mu_0 + L\sqrt{Var(Z_1)} \\ &= 2,03 + 2,5\sqrt{0,02034} = 2,39044 \end{aligned}$$

$$CL = \mu_0 = 2,03$$

$$\begin{aligned} LCL &= \mu_0 - L\sqrt{Var(Z_1)} \\ &= 2,03 - 2,5\sqrt{0,02034} = 1,67736 \end{aligned}$$

Kemudian perhitungan dilanjutkan sampai Z_{59} untuk bobot 0,1; 0,2; 0,3; 0,4 dan 0,5.





Gambar 2. Peta Kendali PEWMA dengan bobot 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5

Gambar 2 menunjukkan bahwa bagan pengendali dengan bobot 0,1; 0,2; dan 0,3 merupakan bagan yang terkendali karena tidak terdapat plot diluar batas kendali. Sedangkan bagan pengendali dengan bobot 0,4 dan 0,5 tidak terkendali karena terdapat plot yang berada di luar batas kendali. Pada peta kendali dengan bobot 0,3 terdapat satu titik, yaitu titik ke-47 yang terlihat mendekati batas kendali atas dengan nilai $Z_{47} = 3,523729 < UCL = 3,53165$. Dengan demikian untuk Peta Kendali PEWMA dengan $\lambda=0,3$ menunjukkan peta yang terkendali dan dianggap sebagai peta kendali dengan bobot optimal secara visual karena terdapat titik yang masih *in-control* tetapi mendekati batas kendali *out-control*.

Perhitungan nilai ARL yang berasal dari distribusi *Poisson* dengan nilai mean dari data adalah 2,03; nilai UCL = 2,85185; LCL = 1,21595; N = 5, dan $\lambda = 0,1$ kemudian akan ditentukan matriks peluang transisi dengan menentukan matriks Q yang berisi elemen seperti di bawah ini:

$$Q = \begin{pmatrix} Q_{1,1} & Q_{1,2} & Q_{1,3} & \dots & Q_{1,N} \\ Q_{2,1} & Q_{2,2} & Q_{2,3} & \dots & Q_{2,N} \\ Q_{3,1} & Q_{3,2} & Q_{3,3} & \dots & Q_{3,N} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Q_{N,1} & Q_{N,2} & Q_{N,3} & \dots & Q_{N,N} \end{pmatrix}$$

Sehingga dapat diperoleh nilai dari setiap elemen Q dapat ditentukan oleh rumus sebagai berikut:

$$Q_{i,j} = P \left(LCL + \left(\frac{UCL - LCL}{2N\lambda} \right) (2(j-1) - (1-\lambda)(2i-1)) < X_t < LCL + \left(\frac{UCL - LCL}{2N\lambda} \right) (2j - (1-\lambda)(2i-1)) \right)$$

$$Q_{1,1} = P \left(1,68 + \left(\frac{2,39 - 1,68}{2 \times 5 \times 0,1} \right) (2(1-1) - (1-0,1)(2 \times 1 - 1)) < X_t < 1,68 + \left(\frac{2,39 - 1,68}{2 \times 5 \times 0,1} \right) (2 \times 1 - (1-0,1)(2 \times 1 - 1)) \right)$$

$$Q_{1,1} = P(1,2 < X_t < 2,0) \\ = P(X_t = 1) + P(X_t = 2)$$

Kemudian dengan $\mu = 2,03$ sehingga diperoleh nilai $Q_{1,1}$

$$Q_{1,1} = \frac{\mu^1 \exp\{-2,03\}}{1!} + \frac{\mu^2 \exp\{-2,03\}}{2!} = 0,450$$

dengan cara yang sama, akan di cari elemen matriks Q lainnya yang dapat dituliskan sebagai berikut:

$$Q = \begin{pmatrix} 0,450 & 0,276 & 0,131 & 0,041 & 0,005 \\ 0 & 0,450 & 0,276 & 0,131 & 0,041 \\ 0 & 0 & 0,450 & 0,276 & 0,106 \\ 0 & 0 & 0,402 & 0,454 & 0,276 \\ 0 & 0 & 0 & 0,402 & 0,454 \end{pmatrix}$$

dari hasil matriks Q, dapat diperoleh nilai ARL dengan menggunakan persamaan (13). Perhitungan ARL dilakukan berjalan berdasarkan bobot dari bobot 0,1 sampai dengan bobot 0,5 dihitung dengan cara yang sama. Setelah dilakukan perhitungan ARL maka didapatkan hasil pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai λ dan Nilai ARL dari Peta Kendali PEWMA

Nilai λ	ARL PEWMA
0,1	19,271
0,2	-10,387
0,3	17,970
0,4	-3,535
0,5	-3,896

Berdasarkan Tabel 1, nilai ARL untuk bobot $\lambda=0,3$ lebih kecil dibandingkan dengan $\lambda=0,1$. Sedangkan nilai ARL untuk bobot yang lain $\lambda=0,2$; $\lambda=0,4$ dan $\lambda=0,5$ bernilai negatif. Sehingga nilai bobot 0,3 merupakan bobot pengendali optimal untuk grafik pengendali data kecelakaan pesawat fatal di Indonesia.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis dan pembahasan, dapat disimpulkan bahwa bagan pengendali *Poisson Exponentially Weighted Moving Average* (PEWMA) merupakan salah satu metode untuk mengamati ketidaksesuaian yang terjadi pada suatu proses kecelakaan. PEWMA diterapkan untuk membuat bagan pengendali variabel kecelakaan pesawat fatal di Indonesia tahun 1962 sampai dengan tahun 2021 yang berdistribusi *Poisson*. Penelitian ini menggunakan lima bobot yang menghasilkan proses terkendali untuk bobot 0,1; 0,2; dan 0,3 sedangkan untuk bobot 0,4 dan 0,5 proses tidak terkendali. Perhitungan ARL kemudian dilakukan untuk menguji performa bagan pengendali dengan masing-masing bobot dan didapatkan bobot optimal adalah 0,3 karena memiliki nilai ARL terkecil sebesar 17,970.

DAFTAR PUSTAKA

- Abujiya, M.R., Farouk, A.U., Lee, M.H., Mohamad, I. 2013. On the Sensitivity of Poisson EWMA Control Chart. *International Journal of Humanities and Management Science (IJHMS)* Vol. 1, No. 1, Hal: 2320-4044.
- Abujiya, M.R., Abbasi, S.A., Riaz, M. 2016. A New EWMA Control Chart for Monitoring Poisson Observation. *Quality and Reliability Engineering International* Vol. 32, No. 3, Hal: 995-1005.
- Alevizakos, V., Koukouvinos, C. 2019. A Comparative Study on Poisson Control Charts. *Quality Technology & Quantitive Management* Vol 17, No. 3, Hal: 354-382.
- Borror, C.M., Champ, C.W., Rigdon, S.E. 1998. Poisson EWMA Control Charts. *Journal of Quality Technology* Vol. 30, Hal: 352-361.
- ICAO. 2001. Annex 13 Aircraft Accident and Incident Investigation-Ninth Edition. Montreal: International Civil Aviation Organization.
- Montgomery, D.C. 1990. *Introduction to Statistical Quality Control*. Washington: John Wiley and Sons, Inc.
- Montgomery, D.C. 2009. *Introduction to Statistical Quality Control* 6th edition. New York: John Wiley and Sons.

- Rachmah, N. F dan Purnadi. 2014. Pemodelan Jumlah Kematian Bayi dan Jumlah Kematian Ibu di Provinsi Jawa Timur dengan Menggunakan Bivariate Poisson Regression. *Jurnal Sains dan Seni POM ITS* Vol. 3, No. 2.
- Sari, E.R., Herdiana, E.T., Sirajang, N. 2020. Analisis Keakuratan Bagan Kendali Poisson Berdasarkan Ukuran Sampel. *Jurnal Matematika, Statistika, dan Komputasi* Vol. 16, No. 3, Hal: 325-336.