

Penerapan Diagram Kendali EWMA (*Exponentially Weighted Moving Average*) Berbasis *Pearson Residual* pada Data Jumlah Penundaan Keberangkatan Pesawat

Aulia Yasmin*, Suwanda

Prodi Statistika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Islam Bandung, Indonesia.

*aulia.yasmin2001@gmail.com, idris1000358@gmail.com

Abstract. The purpose of statistical quality control is to achieve, maintain and improve a quality tool. A commonly used tool is the shewart control chart, but the diagram is less effective in detecting relatively small average shifts. One alternative is to use the EWMA (*Exponentially Weighted Moving Average*) control chart which assumes normally distributed data. In practice, sometimes dependent variables follow the poisson distribution and process quality characteristics are characterized as linear or non-linear functions modeled using the *Generalized Linear Model* (GLM). So the residue-based control diagram was proposed by some researchers because it produces better performance. The residue that will be used in this study is pearson residual obtained from the Poisson regression model. Pearson residuals will be used as monitoring statistical values in the EWMA control chart. This residual pearson-based EWMA control diagram will be applied to data on the number of aircraft delays with the Soekarno Hatta - I Gusti Ngurah Rai airport route as a bound variable and wind speed and temperature as independent variables. The test results in Phase I obtained a value of $\lambda = 0.05$ as λ which is effective in detecting small process shifts. Then with a value of $\hat{\sigma}_r^p = 0.7527$ and $L = 2.615$ a statistically controlled diagram is produced. And in Phase II using the control limit value in Phase I, it was found that the diagram was statistically controlled.

Keywords: *Pearson Residual, Pearson Residual Based EWMA Control Diagram, Aircraft Delay.*

Abstrak. Tujuan dari pengendalian kualitas statistik adalah untuk mencapai, mempertahankan serta meningkatkan suatu alat kualitas. Alat yang biasa digunakan adalah diagram kendali shewart, namun diagram tersebut kurang efektif dalam mendeteksi pergeseran rata-rata yang relatif kecil. Salah satu alternatifnya yakni menggunakan diagram kendali EWMA (*Exponentially Weighted Moving Average*) yang memiliki asumsi data berdistribusi normal. Pada praktiknya terkadang variabel terikat mengikuti distribusi poisson dan karakteristik kualitas proses dicirikan sebagai fungsi linier atau non-linier yang dimodelkan menggunakan *Generalized Linear Model* (GLM). Sehingga diagram kendali berbasis residu diusulkan oleh beberapa peneliti karena menghasilkan kinerja yang lebih baik. Residu yang akan digunakan pada penelitian kali ini adalah pearson residual yang didapat dari model regresi poisson. Pearson residual akan digunakan sebagai nilai statistik pemantauan dalam diagram kendali EWMA. Diagram kendali EWMA berbasis pearson residual ini akan diaplikasikan pada data jumlah penundaan pesawat terbang dengan rute bandara Soekarno Hatta - I Gusti Ngurah Rai sebagai variabel terikat dan kecepatan angin serta suhu sebagai variabel bebas. Hasil pengujian pada Fase I diperoleh nilai $\lambda = 0.05$ sebagai λ yang efektif dalam mendeteksi pergeseran proses yang kecil. Kemudian dengan nilai $\hat{\sigma}_r^p = 0.7527$ dan $L = 2.615$ dihasilkan diagram terkendali secara statistik. Serta pada Fase II dengan menggunakan nilai batas kendali pada Fase I dihasilkan bahwa diagram sudah terkendali secara statistik.

Kata Kunci: *Pearson Residual, Diagram Kendali EWMA Berbasis Pearson Residual, Penundaan Pesawat.*

A. Pendahuluan

Tujuan dilakukan pengendalian kualitas adalah untuk mendeteksi kesalahan yang dilakukan dengan menggunakan diagram kendali (Asti & Darwis, 2023). Diagram kendali merupakan metode utama dalam penelitian pengendalian kualitas statistik yang memiliki peran penting dalam memantau kualitas suatu proses, sehingga dapat diketahui apakah suatu proses terkendali atau tidak secara statistik (Lai et al., 2022).

Diagram kendali yang sering digunakan dalam proses pengendalian kualitas statistik adalah diagram kendali Shewhart yang bekerja menggunakan informasi pada titik sampel terakhir dan mengabaikan informasi dari titik sampel sebelumnya sehingga kurang efektif dalam mendeteksi pengeseran rata-rata yang relatif kecil $< 1.5 \sigma$ (Montgomery, 2012).

Salah satu alternatif mendeteksi pengeseran kecil dengan menggunakan diagram kendali EWMA (*Exponentially Weighted Moving Average*). Diagram kendali EWMA memberikan bobot yang lebih besar pada data terbaru yang diterapkan secara *exponential* menggunakan pengamatan masa lalu dan saat ini (Montgomery, 2012). Diagram kendali EWMA mengasumsikan datanya berdistribusi normal.

Pada praktiknya dalam karakteristik kualitas asumsi normalitas tidak selalu terpenuhi. Tekadang variabel terikat yang tidak normal sering terjadi dalam proses data hitungan diskrit yang mengikuti distribusi poisson yang membuat diagram kendali biasa tidak bisa dilakukan karena keterbatasan asumsi distribusi (Lai et al., 2022)

Dalam beberapa kasus karakteristik kualitas pada setiap tahap dicirikan sebagai fungsi linier atau non-linier dari variabel terikat dan variabel bebas (Derakhshani et al., 2020). Yang dimodelkan dengan menggunakan *Generalized Linear Model* (GLM) (Montgomery, 2012). Maka dari itu, beberapa penulis telah merancang diagram kendali untuk memantau residu dari model-model tersebut.

Residu yang dapat digunakan salah satunya adalah pearson residual yang akan digunakan sebagai nilai statistik pemantauan dalam merancang diagram kendali EWMA (Hu & Liu, 2021). Penggunaan pearson *residual* pada diagram kendali EWMA ini digunakan pada data diskrit yang memiliki informasi variabel bebas (X).

Keterlambatan, merupakan manifestasi signifikan dari kegagalan layanan dalam layanan transportasi. Ketepatan waktu dalam penyelenggaraan jadwal penerbangan akan menjadi pertimbangan utama dan juga sebagai tolak ukur kepercayaan para konsumen (Putra & Haspada, 2016)

Maskapai dapat menggunakan teknik statistik untuk memprediksi dan mengelola penundaan penerbangan. Dengan menganalisis data keterlambatan penerbangan historis, maskapai penerbangan dapat mengembangkan model untuk memprediksi penundaan di masa mendatang dan mengambil tindakan proaktif untuk meminimalkan dampaknya.

Penelitian ini akan menerapkan diagram kendali EWMA berbasis pearson *residual* pada data jumlah penundaan keberangkatan pesawat dengan rute bandara Soekarno Hatta - I Gusti Ngurah Rai. Dimana jumlah penundaan keberangkatan pesawat terbang sebagai variabel terikat serta data kondisi cuaca yang dilihat dari kecepatan angin serta suhu sebagai variabel bebas.

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini yaitu untuk menerapkan diagram kendali EWMA (*Exponentially Weighted Moving Average*) berbasis pearson *residual* pada data jumlah penundaan keberangkatan pesawat rute bandara Soekarno Hatta - I Gusti Ngurah Rai.

B. Metodologi Penelitian

Data yang digunakan merupakan data jumlah penundaan keberangkatan pesawat dengan rute Bandara Soekarno-Hatta ke Bandara Internasional I Gusti Ngurah Rai diambil pada periode waktu (4 April 2022 – 4 September 2022) yang terdiri dari 154 hari, dengan variabel terikat adalah jumlah pesawat yang mengalami penundaan keberangkatan lebih dari 15 menit. Serta data kondisi cuaca sebagai faktor yang menyebabkan pesawat mengalami penundaan keberangkatan yaitu rata-rata kecepatan angin dengan satuan km/h (X_1) serta rata-rata suhu dengan satuan $^{\circ}\text{C}$ (X_2) sebagai variabel bebas.

Penelitian ini akan terbagi menjadi dua fase yakni fase I menggunakan data historis

sebanyak 105 hari yang digunakan untuk membawa proses terkendali secara statistik dan fase II menggunakan data baru sebanyak 49 hari yang digunakan untuk memonitor kinerja proses. Berikut penjelasan mengenai metode-metode yang digunakan dalam penelitian:

Diagram Kendali EWMA (*Exponentially Weighted Moving Average*)

Diagram kendali EWMA mengakumulasi statistik saat ini dan sebelumnya dari waktu ke waktu serta diberikan bobot yang berbeda untuk setiap jenis pengamatan (Lai et al., 2022). Rumus statistik grafik EWMA Z_i pada waktu i didefinisikan sebagai berikut (Montgomery, 2012):

$$Z_i = \lambda x_i + (1 - \lambda)Z_{i-1} \text{ untuk } i = 1, 2, 3, \dots \tag{1}$$

Dengan nilai $0 \leq \lambda \leq 1$, serta nilai Z_0 diperoleh melalui nilai target yang sudah ditetapkan atau dengan menggunakan nilai rata-rata observasi (Montgomery, 2012). Pada praktiknya nilai $\lambda = 0.05$, $\lambda = 0.1$, dan $\lambda = 0.2$ merupakan pilihan yang paling populer dalam mendeteksi pergeseran proses yang kecil (Montgomery, 2012). Batas pengendali diagram kendali EWMA adalah sebagai berikut (Montgomery, 2012):

$$GT = Z_0 \tag{2}$$

$$BKA = Z_0 + L\sigma_{z_i} \sqrt{\sigma^2 \frac{\lambda}{(2 - \lambda)} [1 - (1 - \lambda)^{2i}]} \tag{3}$$

$$BKB = Z_0 - L\sigma_{z_i} \sqrt{\sigma^2 \frac{\lambda}{(2 - \lambda)} [1 - (1 - \lambda)^{2i}]} \tag{4}$$

Pada penelitian ini akan digunakan nilai $L = 2.615$ dengan $\lambda = 0.05$, $L = 2.814$ dengan $\lambda = 0.1$ dan $L = 2.962$ dengan $\lambda = 0.2$ yang didasarkan pada tabel ARL Studi Lucas dan Saccucci (1990) (Montgomery, 2012).

Regresi Poisson

Regresi poisson termasuk kedalam *Generalized Linear Models* (GLM) (McCullagh P & Nelder J.A, 2019) karena merupakan anggota dari keluarga eksponensial. Regresi poisson menggunakan fungsi penghubung logaritma natural (\ln) karena rata-rata dari variabel terikat berbentuk fungsi eksponensial dan nilai variabel yang ditaksir dari variabel terikat bernilai positif. Penaksiran parameter model regresi poisson dapat dilakukan dengan menggunakan metode *Maximum Likelihood Estimation* (MLE) dengan cara memaksimumkan fungsi likelihood. Taksiran maksimum *likelihood* yaitu $\hat{\beta}_0, \hat{\beta}_1, \hat{\beta}_2, \dots, \hat{\beta}_k$ sehingga taksiran dari model regresi poisson yaitu:

$$\log(\hat{\mu}_i(x_i)) = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x_{1i} + \hat{\beta}_2 x_{2i} + \dots + \hat{\beta}_k x_{ki} \tag{5}$$

Uji parameter secara simultan dilakukan untuk mengetahui pengaruh dari variabel bebas terhadap variabel terikat secara serentak, dilakukan menggunakan uji *likelihood ratio*:

$$G = 2 \ln L(\hat{\Omega}) - 2 \ln L(\hat{\omega}) \tag{6}$$

Uji parameter secara parsial dilakukan guna melihat signifikansi pengaruh masing-masing variabel bebas terhadap terhadap variabel bebas, dilakukan menggunakan uji wald:

$$W_j = \left(\frac{\hat{\beta}_j}{SE(\hat{\beta}_j)} \right)^2 \tag{7}$$

Pada regresi poisson perlu dilakukan pengecekan nilai dispersi yang dilakukan dengan menggunakan nilai *deviance* seperti berikut (McCullagh P & Nelder J.A, 2019)

$$\phi = \frac{D}{db} \tag{7}$$

$$D = 2 \sum_{i=1}^n \left[y_i \ln \left(\frac{y_i}{\hat{\mu}_i} \right) - (y_i - \hat{\mu}_i) \right] \tag{8}$$

Jika nilai $\phi > 1$ menunjukkan terjadinya overdispersi.

Pearson Residual

Pearson *residual* merupakan pendekatan intuitif dan langsung untuk mendapatkan residu *Generalized Linear Models* (GLM). Pearson *residual* untuk model regresi poisson adalah:

$$r_i^P = \frac{y_i - \hat{\mu}_i}{\sqrt{\hat{\mu}_i}} \tag{9}$$

Diagram Kendali EWMA Pearson Residual

Dengan menggunakan nilai *residual* sebagai target pemantauan EWMA, statistik diagram kendali EWMA dinyatakan dengan (Lai et al., 2022)

$$Z_i^P = \lambda r_i^P + (1 - \lambda)Z_{i-1}^P \tag{10}$$

Serta batas-batas kendali untuk EWMA *pearson residual* adalah sebagai berikut (García-Bustos et al., 2022)

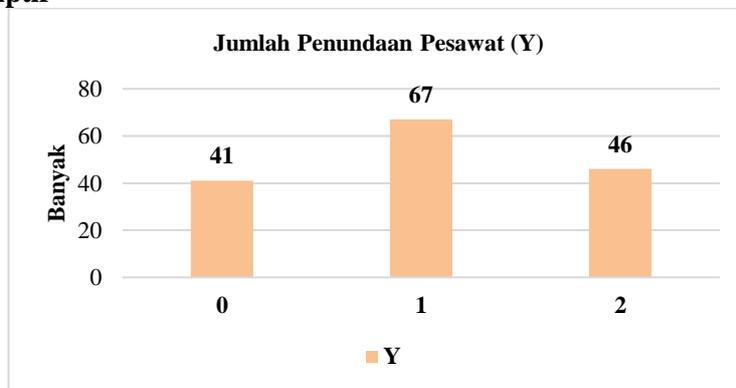
$$BKA = E(\widehat{Z}_i^P) + L\hat{\sigma}_{Z_i^P} = L\hat{\sigma}_{r^P} \sqrt{\left(\frac{\lambda}{2 - \lambda}\right) [1 - (1 - \lambda)^{2i}]} \tag{11}$$

$$BKB = E(\widehat{Z}_i^P) - L\hat{\sigma}_{Z_i^P} = -L\hat{\sigma}_{r^P} \sqrt{\left(\frac{\lambda}{2 - \lambda}\right) [1 - (1 - \lambda)^{2i}]} \tag{12}$$

Dimana $\hat{\sigma}_{r^P}$ merupakan taksiran standar deviasi dari varians *pearson residual* (García-Bustos et al., 2022).

C. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Analisis Deskriptif



Gambar 1. Karakteristik Jumlah Penundaan Pesawat (Y)

Berdasarkan Gambar 1. dari 154 data, jumlah pesawat yang mengalami penundaan keberangkatan tertinggi yaitu 2 penundaan keberangkatan sebanyak 46 penerbangan. Sedangkan jumlah pesawat yang mengalami penundaan penerbangan terendah yaitu 0 penundaan keberangkatan sebanyak 41 penerbangan. Lalu selanjutnya karakteristik dari variabel bebas dengan rincian:

Tabel 1. Karakteristik Variabel X

Variabel	N	Maximum	Minimum	Varians	St. Dev
X ₁	154	19.6	6.6	6.9886	2.6436
X ₂	154	29.6	25.3	0.6695	0.8182

Berdasarkan Tabel 1 dari 154 data pada variabel X_1 rata-rata kecepatan angin tertinggi adalah sebesar 19.6 km/h pada tanggal 8 April 2022 dan rata-rata kecepatan angin terendah adalah sebesar 6.6 km/h pada tanggal 1 Mei 2022. Kemudian pada variabel X_2 rata-rata suhu tertinggi adalah 29.6 yang terjadi pada tanggal 24 Mei 2022 dan rata-rata suhu terendah adalah 25.3 yang terjadi pada tanggal 16 Juli 2022.

Fase I

Uji Kecocokan Distribusi Poisson Data Historis

Dilakukan dengan menggunakan metode chi-square untuk variabel terikat:

Tabel 1. Uji Kecocokan Distribusi Poisson untuk Data Historis

Chi-Square	P-Value
2.36392	0.124

Pada Tabel 2 dengan menggunakan nilai $\alpha = 10\%$ diperoleh keputusan bahwa data jumlah pesawat yang mengalami penundaan keberangkatan pada data historis mengikuti distribusi poisson.

Model Regresi Poisson

Tabel 2. Analisis Regresi Poisson untuk Data Historis

Term	Estimate	Std. Error	Z-Value	P-Value
Constant	6.51705	2.86123	2.278	0.0227
X_1	0.00266	0.04308	0.062	0.9508
X_2	-0.23386	0.10765	-2.172	0.0298

Berdasarkan informasi pada tabel 3, diperoleh model regresi poisson untuk data historis adalah:

$$\hat{\mu}_i = \exp(6.51705 + 0.00266X_{1i} - 0.23386X_{2i}) \tag{13}$$

Kemudian melakukan pengujian simultan menggunakan uji *likelihood ratio* dengan hipotesis:

H_0 : Tidak ada variabel bebas yang berpengaruh secara signifikan terhadap jumlah penundaan keberangkatan pesawat.

H_1 : Paling sedikit ada satu variabel bebas yang berpengaruh secara signifikan terhadap jumlah penundaan keberangkatan pesawat.

Tabel 3. Uji Parameter Regresi Poisson secara Simultan untuk Data Historis

Likelihood Ratio	Df	P-Value
5.093	2	0.078

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4 dengan menggunakan nilai $\alpha = 10\%$ diperoleh keputusan tolak H_0 artinya paling sedikit ada satu variabel bebas yang berpengaruh secara signifikan terhadap jumlah penundaan keberangkatan pesawat.

Kemudian melakukan pengujian secara parsial menggunakan uji wald dengan hipotesis: H_0 : Setiap variabel bebas tidak berpengaruh secara signifikan terhadap jumlah penundaan keberangkatan pesawat.

H_1 : Setiap variabel bebas berpengaruh secara signifikan terhadap jumlah penundaan keberangkatan pesawat.

Tabel 4. Uji Parameter Regresi Poisson secara Parsial untuk Data Historis

Variabel	Parameter	W	$\chi^2_{(0.1;1)}$	P-Value	Keputusan	Kesimpulan
Konstanta	β_0	5.188	2.7055	0.023	Tolak H_0	Signifikan
X_1	β_1	0.004	2.7055	0.951	Terima H_0	Tidak Signifikan
X_2	β_2	4.720	2.7055	0.030	Tolak H_0	Signifikan

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 5 dengan menggunakan nilai $\alpha = 10\%$ diperoleh kesimpulan bahwa terdapat satu variabel yang berpengaruh terhadap jumlah penundaan keberangkatan pesawat yaitu Suhu (X_2). Kemudian dilakukan pemodelan regresi dengan menggunakan variabel X_2 .

Tabel 5. Hasil Analisis Regresi Poisson untuk Data Historis (2)

Term	Estimate	Std. Error	Z-Value	P-Value
Constant	6.48058	2.8001	2.314	0.0206
X_2	-0.23155	0.1009	-2.294	0.0218

Berdasarkan informasi pada Tabel 6, diperoleh model regresi poisson untuk data historis adalah:

$$\hat{\mu}_i = \exp(6.48058 - 0.23155X_{2i}) \quad (14)$$

Kemudian dilakukan pengujian secara parsial menggunakan uji wald dengan hipotesis: H_0 : Variabel Suhu (X_2) tidak berpengaruh secara signifikan terhadap jumlah penundaan keberangkatan pesawat.

H_1 : Variabel Suhu (X_2) berpengaruh secara signifikan terhadap jumlah penundaan keberangkatan pesawat.

Tabel 6. Uji Parameter Regresi Poisson secara Parsial untuk Data Historis (2)

Variabel	Parameter	W	$\chi^2_{(0.1;1)}$	P-Value	Keputusan	Kesimpulan
Konstanta	β_0	5.357	2.7055	0.021	Tolak H_0	Signifikan
X_2	β_2	5.263	2.7055	0.022	Tolak H_0	Signifikan

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 7 dengan menggunakan nilai $\alpha = 10\%$ diperoleh keputusan bahwa variabel Suhu (X_2) berpengaruh terhadap jumlah penundaan keberangkatan.

Tabel 7. Pemeriksaan Nilai Dispersi untuk Data Historis (2)

Deviance	Df	ϕ
86.574	103	0.841

Selanjutnya melakukan pemeriksaan nilai dispersi. Diperoleh nilai $\phi = 0.841$ yang menunjukkan $\phi < 1$ maka model tidak mengalami kondisi overdispersi, namun mengalami kondisi underdispersi.

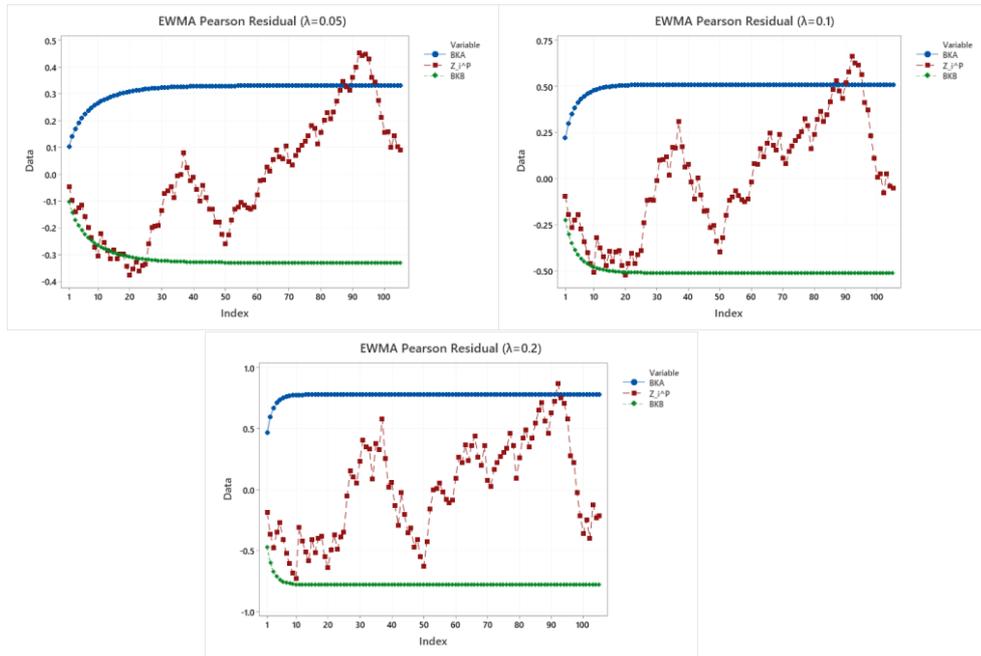
Pearson Residual

Kemudian melakukan perhitungan nilai pearson residual (r_i^P) yang akan dijadikan sebagai target pemantauan EWMA (9) dengan nilai $\hat{\mu}_i$ yang diperoleh dari model regresi poisson (14).

EWMA berbasis Pearson Residual

Menghitung nilai statistik EWMA dengan menggunakan nilai (r_i^P) sebagai target pemantauan (10) dan menghitung batas kendali (11)(12) dengan menggunakan nilai $\lambda = 0.05$ dan $L = 2.615$, $\lambda = 0.1$ dan $L = 2.814$ serta $\lambda = 0.2$ dan $L = 2.962$ kemudian dilakukan plot sebagai

berikut:



Gambar 2. Diagram Kendali EWMA Pearson *Residual* Fase I ($\lambda = 0.05, \lambda = 0.1, \lambda = 0.2$)

Berdasarkan hasil gambar 2 maka, dipilih nilai $\lambda = 0.05$ sebagai λ yang efektif dalam mendeteksi pergeseran proses kecil dan akan digunakan pada perhitungan fase II. Kemudian selanjutnya menghilangkan pengamatan *out of control* pada $\lambda = 0.05$ dan melakukan pemodelan regresi poisson ulang, perhitungan pearson residual serta diplotkan kembali.

Tabel 9. Hasil Analisis Regresi Poisson untuk Data Historis Setelah Menghilangkan Pengamatan *Out of Control*

Term	Estimate	Std. Error	Z-Value	P-Value
Constant	6.09973	3.0562	1.996	0.0459
X_2	-0.21622	0.1105	-1.957	0.0504

Berdasarkan informasi pada Tabel 9 diperoleh model regresi poisson untuk data historis adalah:

$$\hat{\mu}_i = \exp(6.09973 - 0.21622X_{2i}) \tag{15}$$

Kemudian dilakukan pengujian secara parsial menggunakan uji wald:

Tabel 10 Uji Parameter Regresi Poisson secara Parsial untuk Data Historis (2)

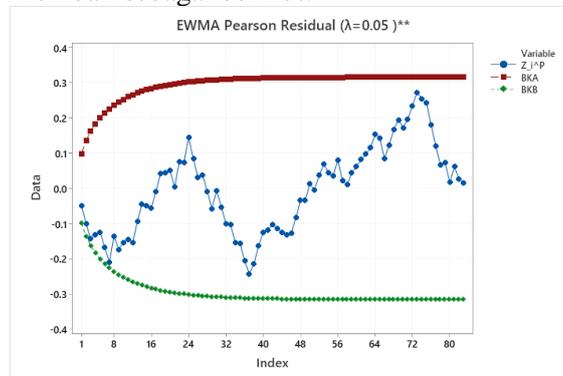
Variabel	Parameter	W	$\chi^2_{(0.1;1)}$	P-Value	Keputusan	Kesimpulan
Konstanta	β_0	3.984	2.7055	0.046	Tolak H_0	Signifikan
X_2	β_2	3.829	2.7055	0.050	Tolak H_0	Signifikan

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 10 dengan menggunakan nilai $\alpha = 10\%$ diperoleh keputusan bahwa variabel Suhu (X_2) berpengaruh terhadap jumlah penundaan keberangkatan.

Tabel 11. Pemeriksaan Nilai Dispersi untuk Data Historis (2)

Deviance	Df	ϕ
----------	----	--------

Selanjutnya melakukan pemeriksaan nilai dispersi. Diperoleh nilai $\phi = 0.781$ artinya $\phi < 1$ maka model tidak mengalami kondisi overdispersi, namun mengalami kondisi underdispersi. Kemudian dihitung kembali nilai pearson *residual* (r_i^P) dengan nilai $\hat{\mu}_i$ (15) dan melakukan plot EWMA kembali sebagai berikut:

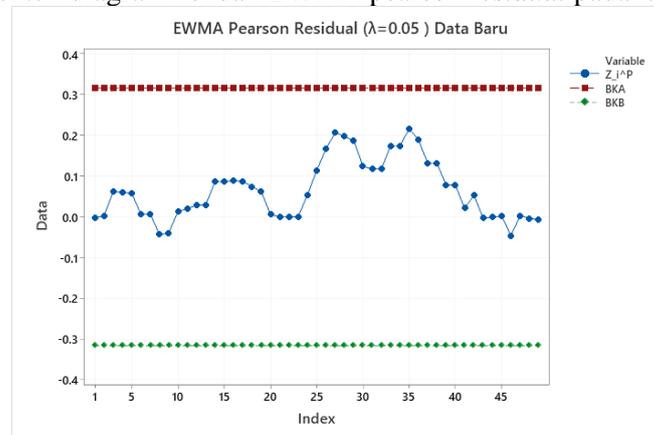


Gambar 3. Diagram Kendali EWMA Pearson *Residual* Fase I ($\lambda = 0.05$) Baru

Berdasarkan hasil gambar 3, setelah melakukan penghapusan pengamatan *out of control* sebanyak 2 kali dihasilkan proses terkendali secara statistik. Sehingga dapat dilanjutkan ke fase II dengan tujuan untuk memonitori kinerja proses.

Fase II

Dilakukan dengan menggunakan 49 data pengamatan, kemudian dihitung nilai person *residual* (9) menggunakan model regresi poisson (15) yang sudah terkendali. Kemudian, dengan menggunakan nilai $\lambda = 0.05$, $L = 2.615$ dan nilai $\hat{\sigma}_{r,P} = 0.7527$ yang diperoleh pada fase I sehingga dapat dibentuk diagram kendali EWMA pearson *residual* pada fase II sebagai berikut:



Gambar 4. Diagram Kendali EWMA Pearson *Residual* Fase II

Berdasarkan hasil gambar 4 pada fase II dengan menggunakan nilai $\lambda = 0.05$ serta batas-batas kendali pada fase I didapat hasil bahwa tidak ada pengamatan yang diluar batas kendali sehingga dapat dikatakan bahwa proses sudah terkendali secara statistik.

D. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan pada BAB IV, dapat disimpulkan bahwa pada diagram kendali EWMA berbasis pearson residual terdapat 2 fase pengerjaan. Pada fase I model regresi poisson mengalami kondisi underdispersi, kemudian berdasarkan hasil pengujian secara parsial menggunakan uji wald diperoleh hasil bahwa hanya variabel suhu (X_2) yang berpengaruh secara signifikan terhadap variabel jumlah penundaan keberangkatan pesawat. Maka

perhitungan diagram kendali EWMA berbasis pearson residual pada penelitian ini hanya melibatkan variabel suhu (X_2). Kemudian setelah dilakukan plot, pada Fase I dengan menggunakan 105 pengamatan dihasilkan nilai $\lambda = 0.05$ sebagai λ yang efektif untuk mendeteksi pergeseran proses yang kecil. Setelah melakukan dua kali penghapusan data pengamatan out of control dengan menggunakan nilai $L = 2.615$ serta $\hat{\sigma}_r^P = 0.7527$ diagram kendali EWMA berbasis pearson residual sudah terkendali secara statistik, sehingga nilai batas-batas kendali dapat digunakan untuk memonitoring proses selanjutnya pada Fase II.

Selanjutnya pada Fase II dengan menggunakan 49 pengamatan dengan menggunakan nilai $\lambda = 0.05$, $L = 2.615$ serta nilai $\hat{\sigma}_r^P = 0.7527$ dihasilkan bahwa diagram kendali EWMA berbasis pearson residual pada Fase II menunjukkan tidak ada pengamatan yang melebihi batas-batas kendali, sehingga terkendali secara statistik.

Sehingga, model dapat digunakan untuk memprediksi dan mengelola penundaan penerbangan untuk diambil tindakan proaktif agar meminimalkan dampaknya.

Acknowledge

Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada Allah SWT, kedua orang tua yang selalu memberikan doa serta dukungan dan Bapak Dr. Suwanda, M.S selaku dosen pembimbing atas arahan dan bimbingannya sehingga terselesaikannya penelitian ini. Serta kepada para dosen Statistika Unisba yang telah memberikan ilmu pengetahuannya, dan kepada teman-teman yang selalu membantu dan menemani penulis hingga terselesaikannya perkuliahan ini.

Daftar Pustaka

- [1] Lai, X., Liu, R., Liu, L., Wang, J., Zhang, X., Zhu, X., & Chong, K. C. (2022). Residuals based EWMA control charts with risk adjustments for zero-inflated Poisson models. *Quality and Reliability Engineering International*, 38(1), 283–303. <https://doi.org/10.1002/qre.2977>.
- [2] Montgomery, D. C. (2012). *Statistical Quality Control*. Wiley, Seven [3] R. Derakhshani, R., Esmaeeli, H., & Amiri, A. (2020). Phase II Monitoring of Poisson Regression Profiles in Multi-Stage Processes. *International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering*, 27(4).
- [3] Hu, Q., & Liu, L. (2021). Weighted Score test based EWMA control charts for Zero-Inflated Poisson Models. *Computers and Industrial Engineering*, 152. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106966>.
- [4] Putra, R. D., & Haspada, H. D., “Perlindungan Konsumen Terhadap Keterlambatan Penerbangan (Flight Delay),” 2016
- [5] McCullagh P, & Nelder J.A. (2019). *Generalized Linear Model (Second Edition)*: Vol. Second (Second). Routledge
- [6] García-Bustos, S., Cárdenas-Escobar, N., Debón, A., & Pincay, C. (2022b). Aplicación de gráficos de control para detectar anomalías en la mortalidad de niños en Ecuador. *International Journal of Quality and Reliability Management*, 39(10), 2378–2399. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-03-2021-0062>
- [7] Asti, A. P., & Darwis, S. (2023). Deteksi Kerusakan Bearing Menggunakan Komponen Utama Kernel. *Jurnal Riset Statistika*, 19–26. <https://doi.org/10.29313/jrs.v3i1.1771>