

Received: 13 March 2024.

Revised: 08 May 2024.

Accepted: 23 July 2024.



Pembelajaran Distribusi Gamma dalam Masalah Biomedis: Tinjauan pada Pengaruh Dosis Beracun pada Tikus

(*Gamma Distribution Learning in Biomedical Problems: A Review on the Effect of Toxic Doses in Rats*)

Andi Mariani Ramlan^{1*} , Irmasari²

¹ Universitas Sembilan Belas November Kolaka, Sulawesi Tenggara, Indonesia

² Master Program in Pharmaceutical Sciences, Faculty of Pharmacy, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia

Abstract

Purpose: The objective of this study is to examine the use of the Gamma function in the Gamma distribution and its application in analyzing the effect of toxic doses on rats. **Methodology:** The methodology employed in this study utilizes a non-standard Gamma distribution, with a continuous random variable X that has parameters α and β . The research methods employed in this study include a literature review and a case study. **Findings:** The results of the calculations indicated that the mean time to death for the rats was 50 weeks, with a standard deviation of 22.36 weeks. **Significance:** It was also found that the probability of rats surviving for more than 60 days was less than 60%. Based on these findings, the study offers recommendations for the teaching of mathematics, particularly in the context of understanding probability distributions and their applications in biological and toxicological contexts. This study underscores the significance of grasping the Gamma distribution in anticipating and interpreting data in the life sciences, as well as the capacity of mathematical concepts to be operationalized in genuine settings.

Keywords: biomedical problem, gamma function, gamma distribution, rats.

Abstrak

Tujuan: Penelitian ini mengkaji penggunaan fungsi Gamma pada distribusi Gamma serta aplikasinya dalam analisis pengaruh dosis bahan beracun pada tikus. **Metodologi:** Permasalahan ini diselesaikan menggunakan distribusi Gamma yang tidak standar, dengan memanfaatkan variabel acak kontinu X yang memiliki parameter α dan β . Metode penelitian meliputi studi kepustakaan dan studi kasus. **Temuan:** Hasil perhitungan menunjukkan bahwa rata-rata waktu kematian tikus adalah 50 minggu, dengan variasi waktu bertahan hidup sebesar 22,36 minggu. **Signifikan:** Selain itu, diperoleh peluang tikus untuk bertahan hidup tidak lebih dari 60 hari. Berdasarkan hasil ini, penelitian memberikan rekomendasi untuk pembelajaran matematika, terutama dalam memahami konsep distribusi probabilitas dan penerapannya dalam konteks biologis dan toksikologi. Penelitian ini menyoroti pentingnya pemahaman distribusi Gamma dalam memprediksi dan menganalisis data dalam ilmu kehidupan, serta bagaimana konsep-konsep matematika dapat diterapkan dalam situasi nyata.

Kata kunci: distribusi gamma, fungsi gamma, masalah biomedis, tikus.

* Corresponding author: Andi Mariani Ramlan, marianiramlan@usn.ac.id



Pendahuluan

Tikus sawah (*Rattus argentiventer*) merupakan salah satu hama utama penanaman padi di Asia Tenggara yang dapat menyebabkan kerusakan dan kerugian baik sebelum maupun sesudah panen (Rahman *et al.*, 2018; Siregar *et al.*, 2021). Serangan hama tikus sawah dapat merusak tanaman padi pedesaan tingkat pertumbuhan dari masa pembibitan sampai masa panen (Nurhijjah *et al.*, 2019; Putri *et al.*, 2021). Oleh sebab itu, hama tikus ini dapat menyebabkan tanaman puso atau gagal panen (Triwidodo *et al.*, 2020; Nurfauzan *et al.*, 2023). Kehilangan hasil gabah akibat serangan hama itu hampir terjadi setiap musim tanam dengan kerusakan mencapai 15-20% tiap tahunnya (Setiabudi, 2014). Tikus merupakan hewan mamalia yang biasa hidup di got-got, atap rumah, semak-semak dan di sawah.

Tikus berpotensi mendatangkan penyakit bagi masyarakat apalagi jika jumlahnya semakin banyak dan tidak bisa dikendalikan. Beberapa dampak buruk tikus diantaranya : 1) tikus dapat merusak tanaman budidaya dalam waktu yang singkat dan dalam jumlah kerusakan yang besar, walaupun hal tersebut dilakukan oleh beberapa ekor tikus saja. Contohnya dalam satu malam, tikus sawah rata-rata dapat merusak tanaman padi sebanyak 649,72 tunas IR64 dan 716 tunas untuk Cisadane; 2) tikus dapat menyerang tanaman dalam berbagai stadia umur, mulai dari pembibitan fase vegetatif, fase generatif, fase panen, dan fase paska panen; 3) tikus dapat menimbulkan penyakit *Leptospirosis* yang penularannya berasal dari air kencing tikus. Tikus sangat mengganggu aktifitas manusia dalam berbagai lini kehidupan.

Berdasarkan penjelasan tersebut, populasi tikus perlu ditindak lanjuti dengan cara mengurangi jumlahnya (Siregar *et al.*, 2020). Salah satu upaya menanggulangi hama tikus yaitu dengan memasang penjemur tikus menggunakan aliran listrik atau dengan memberikan racun tikus. Namun, pada penggunaan aliran listrik cukup berbahaya (Iqbal & Rahayu, 2022). Oleh karena itu, untuk membasmi tikus dihindari dengan memberi racun tikus karena cara ini dirasa lebih efisien dan tidak membahayakan lingkungan. Pemberian racun tikus merupakan zat yang secara teratur dibuang ke atmosfer dari bahan bakar jet untuk suatu dosis bahan racun tertentu. Kajian tersebut menentukan bahwa waktu bertahanannya dalam waktu tertentu mengikuti sebaran gamma. Untuk menentukan pengaruh bahan racun pada tikus dapat dihitung dengan mengikuti sebaran distribusi gamma. Oleh sebab itu, artikel ini mengkaji tentang permasalahan yang berkaitan dengan pengaruh dosis bahan beracun pada tikus menggunakan distribusi gamma.

Pengertian Distribusi Gamma

Distribusi Gamma adalah salah satu distribusi variabel acak kontinu dengan parameter skala $\alpha > 0$ dan parameter bentuk $\beta > 0$, di mana α dan β merupakan bilangan real positif (Warella *et al.*, 2021). Distribusi gamma dinamai sesuai dengan fungsi gamma (GF) yang dikenal luas, yang dieksplorasi dalam banyak bidang matematika (Khan *et al.*, 2021). Di samping itu, distribusi Gamma merupakan salah satu konsep dalam teori distribusi probabilitas yang sering digunakan dalam penarikan kesimpulan atau pengujian hipotesis statistika. Distribusi Gamma berasal dari fungsi gamma yang telah tersebar luas dan banyak dipelajari dalam berbagai bidang matematika yang membantu dalam

menyelesaikan masalah-masalah teknik dan sains yang tidak dapat diselesaikan dengan menggunakan distribusi normal. Distribusi Gamma ini memiliki penerapan yang sangat luas dalam analisis data uji hidup. Data uji hidup atau uji reliabilitas mengacu pada kemungkinan bahwa suatu komponen akan berfungsi dengan baik selama periode waktu tertentu dalam percobaan yang telah ditentukan sebelumnya.

Fungsi Gamma, dinotasikan dengan $\Gamma(\alpha)$ untuk $\alpha > 0$, yang didefinisikan sebagai:

- 1) untuk $\alpha > 0$

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} x^{\alpha-1} e^{-x} dx \quad (1.0)$$

- 2) untuk $\alpha = 1$

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} x^{\alpha-1} e^{-x} dx = 1 \quad (1.1)$$

- 3) untuk $\alpha > 1$

$$\Gamma(\alpha) = (\alpha - 1) \int_0^{\infty} x^{\alpha-2} e^{-x} dx = (\alpha - 1) \Gamma(\alpha - 1) \quad (1.2)$$

Sifat-sifat penting fungsi gamma adalah:

- 1) Untuk sebuah bilangan bulat positif n , $\Gamma(n) = (n - 1)!$

- 2) Didefinisikan: $\Gamma\left(\frac{1}{2}\right) = \sqrt{\pi}$

- 3) Untuk setiap $\alpha > 1$ berlaku $\Gamma(\alpha) = (\alpha - 1) \cdot \Gamma(\alpha - 1)$ (Harinaldi, 2005).

Misalkan x pada fungsi gamma di persamaan (1.0) merupakan variabel yang bergantung pada variabel x dan β , yaitu $y = x/\beta$, dengan $\beta > 0$, maka persamaan menjadi:

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} \left(\frac{x}{\beta}\right)^{\alpha-1} e^{-x/\beta} \left(\frac{1}{\beta}\right) dx \quad (1.3)$$

Jika masing-masing ruas dikalikan dengan dengan $\frac{1}{\Gamma(\alpha)}$ maka persamaan tersebut akan ekuivalen dengan:

$$1 = \int_0^{\infty} \frac{1}{\Gamma(\alpha)\beta^{\alpha}} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} dx \quad (1.4)$$

Karena $\alpha > 0$, $\beta > 0$ maka fungsi:

$$f_G(x; \alpha, \beta) = \begin{cases} \frac{1}{\Gamma(\alpha)\beta^{\alpha}} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta}, & 0 < x < \infty \\ 0, & x \text{ lainnya} \end{cases} \quad (1.5)$$

Dimana $\alpha > 0, \beta > 0$

Keterangan:

β = waktu rata-rata antar kejadian

α = jumlah kejadian yang terjadi berurutan pada waktu atau ruang tertentu

λ = jumlah kejadian per unit waktu atau ruang ($\lambda = 1/\beta$)

X = nilai random variabel (lama waktu atau luasan area hingga kejadian)

Variabel random X dikatakan mempunyai distribusi gamma dengan parameter $\alpha > 0$ dan $\beta > 0$, jika X mempunyai fungsi distribusi gamma berbentuk :

$$f_G(x; \alpha, \beta) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)\beta^\alpha} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} \quad (1.6)$$

untuk $0 < x < \infty$, $\alpha > 0$, $\beta > 0$ dan 0 untuk nilai x lainnya.

- parameter α disebut juga parameter bentuk
- parameter β disebut juga parameter skala

Jika parameter skala distribusi gamma $\beta = 1$ diperoleh suatu *distribusi gamma standard*. maka jika X adalah variabel acak kontinu dari distribusi gamma standard, fungsi kepadatan probabilitas adalah:

$$f(x; \alpha) = \begin{cases} \frac{x^{\alpha-1} e^{-x}}{\Gamma(\alpha)}, & x \geq 0 \\ 0, & \text{yang lain} \end{cases} \quad (1.7)$$

Sedangkan fungsi distribusi kumulatif gamma standard adalah:

$$F(x; \alpha) = P(X \leq x) = \int_0^x \frac{t^{\alpha-1} e^{-t}}{\Gamma(\alpha)} dt \quad (1.8)$$

Fungsi distribusi kumulatif standard disebut juga *fungsi gamma tak lengkap*. fungsi ini dapat digunakan untuk menghitung probabilitas dari suatu distribusi gamma yang tidak standard karena untuk sebuah variabel acak kontinu X yang memiliki distribusi gamma dengan parameter α dan β berlaku hubungan (Harinaldi, 2005):

$$P(X \leq x) = F(x; \alpha, \beta) = F\left(\frac{x}{\beta}; \alpha\right) \quad (1.9)$$

Konsep Variabel Random

Variabel acak adalah suatu fungsi yang mengaitkan sebuah bilangan real dengan setiap anggota ruang sampel. Notasi yang umum digunakan untuk menyatakan variabel acak ditulis dengan huruf besar, seperti X yang mewakili suatu variabel acak dan x adalah salah satu dari nilainya. Jika suatu ruang sampel memiliki jumlah kemungkinan yang terbatas atau urutan tak terbatas dengan anggota sebanyak bilangan bulat, maka ruang sampel tersebut disebut diskrit. Jika suatu ruang sampel memiliki jumlah kemungkinan tak terbatas yang sama dengan titik-titik dalam sebuah segmen garis, maka ruang sampel tersebut disebut kontinu. Variabel acak diskrit diperoleh sebagai hasil dari kegiatan penghitungan, sehingga jumlah anggotanya terbatas. Sementara itu, variabel acak kontinu diperoleh sebagai hasil dari kegiatan pengukuran, sehingga anggotanya tak terbatas. Jika nilai-nilai variabel acak tersebut adalah harga, maka disebut variabel acak diskrit. Sedangkan jika nilai-nilai variabel acak tersebut adalah kontinu, maka disebut variabel acak kontinu.

Distribusi Peluang Kontinu

Variabel random kontinu mempunyai peluang nol untuk memiliki secara tepat nilainya yang distribusi peluangnya tidak dapat diberikan dalam bentuk tabel. Meskipun demikian, peluang tersebut dapat dinyatakan dalam suatu rumus yang akan menjadi suatu fungsi nilai numerik dari variabel random X dan akan disajikan dengan tanda fungsional $f(x)$ dan disebut sebagai fungsi densitas atau fungsi padat peluang.

Mean dan Varian

Mean atau rata-rata sangat penting untuk melihat dimana distribusi peluang dipusatkan. Tetapi, mean ini tidak memberikan gambaran yang memadai tentang bentuk distribusi tersebut. Pengukuran variabilitas dalam statistika $\text{Var}(X)$ atau dan biasa disebut varians.

Variabel random kontinu X mempunyai sebuah distribusi gamma dengan parameter α , β jika di

fungsi densitasnya dimana $\alpha > 0$, $\beta > 0$. Berikut diberikan rumusan beberapa ukuran statistik deskriptif untuk distribusi gamma. Berdasarkan definisi *mgf* (*moment generating function*) pada fungsi binomial, selanjutnya dengan *mgf* akan dicari momen pertama (rata-rata) dan momen kedua (varian).

$$M(t) = E[e^{tx}] = \int_0^{\infty} e^{tx} \frac{1}{\beta^{\alpha} \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} dx \quad (1.10)$$

$$= \int_0^{\infty} e^{tx} \frac{1}{\beta^{\alpha} \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x(1-\beta t)/\beta} dx \quad (1.10.1)$$

Melalui pemisalan $y = x(1 - \beta t)$ dengan $t < 1/\beta$ maka $x = \beta y / (1 - \beta t)$, sehingga,

$$M(t) = \int_0^{\infty} \frac{\beta / (1 - \beta t)}{\beta^{\alpha} \Gamma(\alpha)} \left(\frac{\beta y}{1 - \beta t} \right)^{\alpha-1} e^{-y} dy \quad (1.11)$$

$$= \int_0^{\infty} \left(\frac{1}{1 - \beta t} \right)^{\alpha} \frac{1}{\Gamma(\alpha)} y^{\alpha-1} e^{-y} dy \quad (1.11.1)$$

$$= \left(\frac{1}{1 - \beta t} \right)^{\alpha} \int_0^{\infty} \frac{1}{\Gamma(\alpha)} y^{\alpha-1} e^{-y} dy \quad (1.11.2)$$

Karena fungsi yang ada di bawah integral fungsi kepadatan probabilitas dari distribusi gamma maka nilai integralnya adalah 1. Akibatnya,

$$M(t) = \left(\frac{1}{1 - \beta t} \right)^{\alpha} \text{ untuk } t < \frac{1}{\beta} \quad (1.12)$$

Karena turunan pertama dari M adalah

$$M'(t) = (-\alpha)(1 - \beta t)^{-\alpha-1}(-\beta) \quad (1.13)$$

dan turunan keduanya adalah

$$M''(t) = (-\alpha)(1 - \beta t)^{-\alpha-2}(-\beta)^2 \quad (1.13.1)$$

Maka Mean untuk distribusi gamma adalah :

$$E(x)X \sim (\alpha, \beta) \text{ atau } \mu = M'(0) = \alpha\beta \quad (1.14)$$

dan Variansi distribusi gamma atau dapat dituliskan $E(x^2)X \sim (\alpha, \beta)$ adalah:

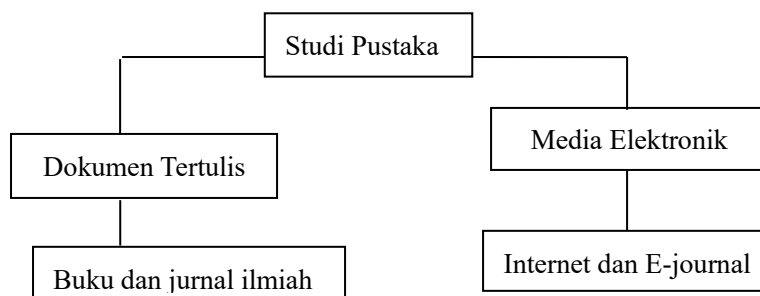
$$E(x^2) = \sigma^2 = M''(0) - \mu^2 = \alpha(\alpha - 1)\beta^2 - \alpha^2\beta^2 = \alpha\beta^2 \quad (1.15)$$

Metode

Metode yang digunakan dalam mengumpulkan data pada kajian ini yaitu:

1. Studi Kepustakaan

Studi kepustakaan merupakan suatu teknik pengumpulan data dengan menghimpun dan menganalisis dokumen-dokumen, baik dokumen tertulis, gambar, maupun elektronik. Berikut ini adalah bagan studi kepustakaan yang penulis lakukan dalam kajian ini.



Gambar 1. Alur Studi Kepustakaan

2. Studi Kasus

Studi kasus adalah eksplorasi mendalam dari sistem terikat (misalnya: kegiatan, acara, proses) berdasarkan pengumpulan data yang luas. Studi kasus melibatkan investigasi kasus, yang dapat didefinisikan sebagai suatu entitas atau objek studi yang dibatasi atau terpisah untuk penelitian dalam hal waktu, tempat, atau batas-batas fisik. Studi kasus kolektif; (a) melibatkan beberapa kasus, (b) dapat terjadi selama bertahun situs, dan (c) menggunakan banyak individu. Kerangka konseptual untuk studi kasus adalah bahwa dengan mengumpulkan informasi mendalam tentang kasus, peneliti akan mencapai pemahaman mendalam tentang kasus ini, apakah kasus itu adalah seorang individu, kelompok, kelas, atau sekolah.

Hasil dan Pembahasan

Didalam kajian biomedis pada tikus, suatu penelitian dosis tanggapan yang digunakan untuk bertahan menentukan pengaruh dosis bahan racun pada waktu hidup mereka. Bahan racun tersebut adalah zat yang secara teratur dibuang ke atmosfer dari bahan bakar jet. Untuk suatu dosis bahan racun tertentu kajian tersebut menentukan bahwa, waktu bertahanannya dalam 1 minggu mengikuti sebaran gamma dengan $\alpha = 5$ dan $\beta = 10$. Berapakah probabilitas seekor tikus hidup lebih lama dari 60 minggu sampai 120 minggu?

Penyelesaian:

Ambil peubah acak X sebagai waktu bertahan (waktu kematian) probabilitas yang dibutuhkan adalah $F_G(x; \alpha, \beta) = P(X \leq x) = \int_0^x \frac{x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}}}{\Gamma(\alpha)\beta^\alpha} dx$ (1.16)

$$F_G(x; \alpha, \beta) = P(X \leq 60) = \int_0^{60} \frac{x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}}}{\Gamma(5)\beta^5} dx \quad (1.17)$$

Integral di atas dapat dipecah melalui penggunaan fungsi gamma tak lengkap yang menjadi fungsi distribusi kumulatif bagi distribusi Gamma. Fungsi ini ditulis sebagai,

$$P(X \leq x) = F_G(x; \alpha; \beta) = F_G\left(\frac{x}{\beta}; \alpha\right)$$

$$P(60 \leq X \leq 120) = F_G(60, 120; 5; 10)$$

$$P(X \leq 120) - P(X \leq 60) = F_G(120; 5; 10) - F_G(60; 5; 10)$$

$$= F_G(120/10; 5) - F_G(60/10; 5)$$

$$= F_G(12; 5) - F_G(6; 5) \text{ (berdasarkan Tabel distribusi kumulatif gamma standar)}$$

$$= 0,9924 - 0,7149$$

$$= 0,2775.$$

Beberapa ukuran statistik deskriptif distribusi gamma di atas adalah Mean : $\mu_x = E(X) = \alpha\beta = (5)(10) = 50$, maka rata-rata tikus akan meninggal dalam waktu 50 minggu. Varians : $\sigma_x^2 = \alpha\beta^2 = (5)(10)^2 = (5)(100) = 500 \rightarrow \sigma_x = 22,36$, maka cepat lambatnya suatu tikus bertahan hidup sebesar 22,36 minggu yang ditunjukkan sebagai $F(12; 5)$ dan $F(6; 5)$ tentu saja untuk masalah ini, probabilitas tikus bertahan hidup tidak lebih lama daripada 60 hari di berikan oleh: $P(60 \leq X \leq 120) = F_G(60, 120; 5; 10) = 0,2775 = 27,75 \%$, sehingga dapat disimpulkan bahwa peluang tikus untuk bertahan hidup selama 60 sampai 120 minggu adalah 27,75 %.

Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan dapat disimpulkan sebagai berikut:

- 1) Distribusi gamma dapat digunakan untuk mencari probabilitas yang banyak digunakan untuk menarik kesimpulan atau menguji sebuah hipotesis statistika.
- 2) Untuk menyelesaikan permasalahan dengan variabel acak kontinu X yang memiliki distribusi gamma dan parameter α dan β menggunakan rumus distribusi gamma tak standar, yaitu:

$$P(X \leq x) = F(x; \alpha, \beta) = F\left(\frac{x}{\beta}; \alpha\right).$$
- 3) Dari perhitungan studi kasus pada permasalahan yang berkaitan dengan pengaruh dosis bahan beracun pada biomedis tikus yang diselesaikan dengan distribusi gamma, didapat hasil bahwa peluang tikus untuk bertahan hidup selama 60 sampai 120 minggu adalah sebesar 27,75%. Hal ini disebabkan oleh kedua parameter yang digunakan, yaitu parameter α sebagai jumlah kejadian yang terjadi berurutan pada waktu atau ruang tertentu dan parameter β sebagai waktu rata-rata antar kejadian.

Pengembangan lebih lanjut yaitu agar dapat mengkaji lebih luas lagi persoalan yang dapat diselesaikan dengan distribusi Gamma. Selain itu, kajian ini hanya terbatas pada dosis bahan beracun, untuk kajian selanjutnya dapat dikembangkan pada dosis obat pada manusia, kandungan vitamin pada hewan ataupun pada manusia dan sebagainya. Metode perhitungan pada penelitian ini masih secara

manual, untuk permasalahan selanjutnya dapat menggunakan bantuan program komputer dengan membuat aplikasi sendiri atau menggunakan fungsi yang sudah disediakan.

Rekomendasi

Berdasarkan uraian metode, pembahasan dan kesimpulan sebelumnya, rekomendasi untuk pembelajaran matematika adalah sebagai berikut: (1) Sediakan latihan yang mengajak siswa untuk melakukan perhitungan serupa menggunakan data yang disederhanakan agar siswa dapat memahami proses pemodelan dan analisis. Khususnya pada masalah distribusi Gamma, (2) Ajak siswa untuk melakukan penelitian literatur sederhana tentang distribusi Gamma dan fungsi Gamma, dan presentasikan temuannya, (3) Perkenalkan siswa pada teknik analisis statistik yang digunakan dalam penelitian ini, seperti perhitungan rata-rata dan variabilitas. Ajarkan konsep variabel acak kontinu dan parameter-parameter yang terkait (α dan β dalam distribusi Gamma) serta cara menggunakannya dalam perhitungan distribusi (4) Libatkan siswa dalam proyek yang memerlukan mereka untuk menghitung peluang dan membuat interpretasi dari hasilnya, seperti menghitung peluang bertahan hidup suatu organisme dalam berbagai kondisi, dan (5) Diskusikan bagaimana peluang ini dapat diinterpretasikan dan digunakan dalam pengambilan keputusan atau prediksi dalam konteks biologis atau medis.

Referensi

- Harinaldi. (2005). *Prinsip-prinsip statistik untuk teknik dan sains*. Erlangga.
- Iqbal, M., & Rahayu, A. U. (2022). Alat pengusir hama tikus sawah berbasis arduino uno dan gelombang ultrasonic. *Journal of Energy and Electrical Engineering (JEEE)*, 4(1), 1-5. <http://dx.doi.org/10.37058/jeee.v4i1.5620>
- Khan, Z., Al-Bossly, A., Almazah, M. M. A., & Alduais, F. S. (2021). On Statistical Development of Neutrosophic Gamma Distribution with Applications to Complex Data Analysis. *Complexity*, 2021(1), 1–8. <https://doi.org/10.1155/2021/3701236>
- Nurfauzan, A., Ruslan, & Sanatang. (2023). Pengembangan alat pengusir hama tikus di lahan persawahan menggunakan sensor pir dan penguatan ultrasonik untuk petani. *Information Technology Education Journal*, 2(3), 12–19. <https://doi.org/10.59562/intec.v2i3.476>
- Nurhijjah, N., Kuswardhani, R., & Kardhinata, E. (2019). Dampak serangan organisme pengganggu tanaman dan perubahan iklim terhadap produksi dan pendapatan petani padi sawah di Sumatera Utara. *AGRISAINS: Jurnal Ilmiah Magister Agribisnis*, 1(1), 79-88. <https://doi.org/10.31289/agrisains.v1i1.220>
- Putri, Y., Gazali, A., & Sofyan, A. (2021). Pengaruh Beberapa Umpan Pendahuluan Terhadap Jumlah Umpan Beracun Yang Dimakan Tikus Sawah. *Agroekotek View*, 4(2), 134-140. doi:<https://doi.org/10.20527/agtview.v4i2.2942>
- Rahman, A., Nuriadi, N., & Taufik, M. (2018). Pengendalian hama tikus sawah dengan teknik mina padi desa Lara Kecamatan Tirwuta, Kolaka Timur. *Ngayah: Majalah Aplikasi IPTEKS*, 9(1), 1-9.
- Setiabudi, J. (2014). *Strategi pengembangan pengendalian populasi tikus sawah (rattus argentiventer) menggunakan predator burung hantu (tyto alba) pada lahan pertanian sawah Kecamatan Banyubiru Kabupaten Semarang*. Master Thesis, Program Pascasarjana UNDIP.
- Siregar, H., Priyambodo, S., & Hindayana, D. (2020). Preferensi Serangan Tikus Sawah (*Rattus argentiventer*) Terhadap Tanaman Padi. *Agrovigor: Jurnal Agroekoteknologi*, 13(1), 16-21. doi:<https://doi.org/10.21107/agrovigor.v13i1.6249>
- Siregar, H. M., Priyambodo, S., & Hindayana, D. (2021). Analysis of the movement of rice field rats (*rattus argentiventer*) using the linear trap barrier system. *Gontor Agrotech Science Journal*, 7(2). <https://doi.org/10.21111/agrotech.v7i2.6208>

Ramlan, A. M., & Irmasari. (2024). Pembelajaran distribusi gamma dalam masalah biomedis: Tinjauan pengaruh dosis beracun pada tikus (*Gamma distribution learning in biomedical problems: A review on the effect of toxic doses in rats*). *Journal of Research in Science and Mathematics Education (J-RSME)*, 3(2), 111-119.

Triwidodo, G., Ratianingsih, R., & Nacong, N. (2020). Kendali optimal model LCS pada populasi tanaman padi sawah dari serangan hama tikus sawah dan WBC menggunakan prinsip minimum pontryagin. *Jurnal Ilmiah Matematika Dan Terapan (Jurusan Matematika, Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Tadulako)*, 17(2), 169–178. <https://doi.org/10.22487/2540766x.2020.v17.i2.15345>

Warella, R. Y., Wattimanela, H. J., & Ilwaru, V. Y. I. (2021). Sifat-sifat dan kejadian khusus distribusi gamma. *Barekeng*, 15(1), 047–058. <https://doi.org/10.30598/barekengvol15iss1pp047-058>