



Research Articles

Model Matematik Prediksi Pembentukan Biogas dari Limbah Kotoran Ternak

Mathematical Model for Predicting Biogas Formation from Livestock Manure Waste

Guyup Mahardhian Dwi Putra* dan Diah Ajeng Setiawati

Program Studi Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pangan dan Agroindustri,
Universitas Mataram,
Jalan Majapahit No.62, Selaparang, Mataram, Nusa Tenggara Barat 83115 Indonesia

*corresponding author, email : guyupmdp@unram.ac.id

Manuscript received:09-02-2024. Accepted: 26-03-2024

ABSTRAK

Bahan bakar yang paling banyak digunakan oleh masyarakat Indonesia saat ini masih berasal dari minyak bumi dan ketersediaannya semakin berkurang, sehingga perlu ada energi alternatif. Salah satu solusi yang ditawarkan yakni pemanfaatan limbah pertanian dan peternakan yang dikonversi menjadi biogas. Biogas merupakan sumber energi yang dapat diperbarui dan ramah lingkungan, yang dapat digunakan untuk memasak, menghasilkan listrik, bahkan digunakan sebagai bahan bakar untuk kendaraan. Tujuan penelitian ini membuat model matematik untuk memprediksi jumlah volume biogas. Penelitian diawali dengan membuat biogas dari bahan kotoran sapi dan campuran air dengan perbandingan 1 : 2. Campuran tersebut diaduk hingga merata di dalam biogas portabel jenis floating drum. Pada hari pertama hingga hari ke tujuh belum terbentuk gas, dan awal hari ke delapan mulai terbentuk gas dan dilakukan pencatatan volume gas. Pembentukan biogas akan diprediksi menggunakan pendekatan model matematik yaitu Model Gompertz dan Logistik. Hasil penelitian menunjukkan kedua model ini mampu memprediksi data penambahan volume biogas dengan sangat baik dengan koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,99. Dari hasil model yang telah terbentuk, selanjutnya diuji validitas. Hasil uji validitas menunjukkan model Gompertz memperlihatkan hasil terbaik dalam melakukan prediksi. Hal ini ditunjukkan dari nilai bias sebesar 0,002, nilai MSEP sebesar 0,000, dan EI sebesar 0,058. Nilai uji validitas tersebut lebih kecil dari nilai uji validitas yang didapat pada model Logistik yaitu nilai bias sebesar 0,016, nilai MSEP sebesar 0,005, dan nilai Ei sebesar 0,329.

Kata Kunci : Biogas; Gompertz; Kotoran ternak; Logistik ; Model matematik.

ABSTRACT

Petroleum is currently the most commonly used fuel in Indonesia, but its availability is decreasing! Therefore, alternative energy sources are needed. One solution is to convert agricultural and livestock waste into biogas, which is a renewable and environmentally friendly energy source! Biogas can be used for cooking, generating electricity, and even as fuel for vehicles! The aim of this research is to develop a mathematical model for predicting biogas volume! Can you believe it? The experiment

involved creating biogas from a mixture of cow dung and water in a 1:2 ratio. The mixture was stirred until evenly distributed in a portable biogas floating drum. No gas was formed from the first day until the seventh day, but on the eighth day, gas began to form and its volume was recorded! A mathematical model approach, namely the Gompertz and Logistic Models, was used to predict the formation of biogas volume! And guess what? The results indicate that both models were able to predict the data accurately with a coefficient of determination (R^2) of 0.99! The validity test results show that the Gompertz model is the most reliable for making predictions! This is indicated by the bias value of 0.002, MSE value of 0.000, and EI of 0.058. The validity test value is smaller than the validity test value obtained in the Logistic model, which is a bias value of 0.016, MSE value of 0.005, and Ei value of 0.329.

Keywords : Biogas; Gompertz; Livestock manure; Logistics; Mathematical models.

PENDAHULUAN

Bahan bakar yang paling banyak digunakan oleh masyarakat Indonesia saat ini masih berasal dari minyak bumi. Ketersediaan minyak bumi akan semakin berkurang seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk yang bergerak pada sektor industri, rumah tangga, perkantoran, dan lain-lain. Walaupun minyak bumi merupakan sumber daya yang dapat diperbaharui, namun proses pembentukannya membutuhkan waktu berjuta-juta tahun lamanya. Berbagai peralatan yang digerakkan oleh mesin diesel memerlukan solar sebagai bahan bakar, sebagian besar kendaraan roda dua atau roda empat memerlukan bensin sebagai bahan bakar, untuk memasak keperluan dapur sebagian masyarakat memerlukan minyak tanah dan gas sebagai bahan bakar. Jadi dapat dikatakan bahwa hampir segala sisi kehidupan masyarakat menggunakan bahan bakar yang bersumber dari bahan bakar fosil (Khaidir, 2016).

Permasalahan terkait terbatasnya ketersediaan sumber minyak bumi dapat diatasi, salah satunya dengan penggunaan sumber bahan bakar berbasis limbah organik, seperti limbah pertanian atau limbah peternakan. Limbah tersebut dapat dikonversi menjadi bahan bakar alternatif terbarukan yang dapat digunakan untuk menggantikan minyak tanah atau LPG.

Berbagai penelitian terkait pemanfaatan limbah organik hasil pertanian atau peternakan untuk dijadikan biogas telah banyak dilakukan. Penelitian Putra et al., (2017) dan Setiawati et al., (2021) menjelaskan perancangan biogas portable dari limbah kotoran ternak menghasilkan gas yang dapat digunakan untuk memasak dalam skala laboratorium. Adanya pengolahan limbah ternak menjadi biogas merupakan cara untuk mengatasi masalah bagi peternak dan menjadi penyebab gangguan bagi lingkungan sekitarnya. Selama ini, limbah berupa feses dan urine banyak dimanfaatkan sebagai pupuk oleh sebagian besar peternak. Namun, kebanyakan dari mereka langsung membawanya ke kebun tanpa melakukan pengomposan terlebih dahulu. Padahal feses tersebut masih bersifat panas dan bisa mengganggu pertumbuhan tanaman. Penelitian lain terkait biogas adalah pemanfaatan limbah kotoran ternak dicampur dengan limbah pertanian dan limbah pasar yang dilakukan oleh Fitria & Luthfi, (2022). Selain dari limbah peternakan, bahan limbah pertanian juga dapat digunakan sebagai sumber bahan baku untuk produksi biogas. Limbah pasar seperti sayuran atau buah-bahan yang telah busuk dapat diproses menjadi biogas, dan produk samping dari pengolahan biogas dapat digunakan sebagai pupuk organik (Rahmat, 2023).

Produksi biogas akan terus bertambah seiring dengan bertambahnya waktu sampai tidak terjadi lagi proses pembentukan gas. Bertambahnya produksi biogas dapat diprediksi dengan pendekatan model matematik. Model matematik pernah digunakan untuk memprediksi

luas jahe selama pengeringan dengan citra digital (Putra et al., 2021), selain itu juga digunakan untuk menentukan prediksi kanopi tanaman pakcoy (Setiawati et al., 2023). Tujuan penelitian ini adalah membuat model matematik untuk memprediksi jumlah volume biogas serta melihat kemampuan model dalam memprediksi pembentukan volume biogas.

BAHAN DAN METODE

Alat dan Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah kotoran sapi yang masih segar setidaknya maksimal 2 hari penyimpanan. Kotoran sapi ini harus bebas dari benda-benda lain yang tidak dapat diurai seperti plastik, batu, maupun kaleng bekas. Kotoran sapi ini dicampur dengan air menggunakan perbandingan 1 : 2.

Alat penelitian yang digunakan adalah termokopel CA tipe CC, timbangan digital kapasitas 1 kg merek Nankai, datalogger merek YokoGawa Model FX 106, satu set biogas portable kapasitas 200 liter. Bahan baku dan proses pengadukan kotoran ternak dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Bahan baku (a) biogas dan proses pengadukan (b)

Parameter pengukuran

Volume biogas

Volume biogas diukur dari perhitungan ketinggian yang dicapai oleh tangki pengumpul. Rumus yang digunakan (Togelang et al., 2022):

$$V = \pi \cdot r^2 \cdot t \quad (1)$$

Keterangan:

V=volume biogas (m³)

r = jari-jari drum penampung (m)

t = selisih tinggi drum penampung (m)



Gambar 2. Reaktor biogas tipe floating drum

Gambar 2 menunjukkan reaktor biogas tipe floating drum yang digunakan dalam penelitian. Reaktor biogas berbentuk silinder vertikal dengan diameter 52 cm dan tinggi 92 cm. Pipa saluran yang digunakan berjenis PVC (Polivinil klorida) yang kuat, tahan korosi, awet, ringan dan elastis. Diameter yang digunakan 6 cm. Bagian dari reaktor ini terdiri dari lubang inlet sebagai tempat pemasukan limbah, bagian outlet sebagai tempat pembuangan limbah, penampung gas sebagai tempat gas yang terbentuk dan pipa saluran gas yang diarahkan ke kompor sebagai media untuk bahan bakar.

Analisis Data

Analisis model matematik yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis regresi non linier yang terdiri dari model Gompertz dan model Logistik. Kedua model ini sangat sering dan terbukti mampu membangun model berbagai pertumbuhan jamur, mikroalga, tinggi tanaman yang digunakan dalam penelitian ilmiah (Aznan et al., 2022).

Kedua model ini merupakan model sederhana dimana laju pertumbuhan merupakan suatu fungsi perubahan pertumbuhan selama selang waktu tertentu dan kecepatan pertumbuhan semakin menurun sampai terhenti pada saat mencapai titik jenuh (Rouf et al., 2013). Faktor penyebab tidak dimasukkan dalam persamaan ini dikarenakan model persamaan ini dikhususkan hanya pada kasus pertumbuhan atau penambahan volume parameter pada tanaman dan akan menurun pada saat waktu tertentu. Seperti pada penambahan volume pada biogas yang akan menurun saat kandungan gas di dalam tabung reaktor telah habis.

Persamaan model logistik ditulis sebagai berikut:

$$f(t) = \frac{a}{(1 + ce^{-bt})} \quad (2)$$

Keterangan:

a = bobot volume biogas (asimtot) yaitu pada nilai t mendekati tak hingga

c = parameter skala (nilai konstanta integral)

exp = logaritma dasar (2,30259)

- b = rata-rata laju pembentukan biogas
- f(t) = fungsi volume biogas pada waktu t
- t = satuan waktu

Persamaan model Gompertz ditulis sebagai berikut:

$$f(t) = a \exp(-e^{(b-ct)}) \tag{3}$$

Keterangan:

- f(t) = fungsi volume biogas pada waktu t
- a = bobot volume biogas (asimtot) yaitu pada nilai t mendekati tak hingga
- b = integrasi konstanta, parameter skala waktu yang tidak spesifik
- exp = logaritma dasar (2,30259)
- c = konstanta laju pertumbuhan
- t = satuan waktu

Kemampuan model dalam menerapkan variasi variabel dependen digunakan pendekatan metode koefisien determinasi (R^2). Dengan kata lain koefisien determinasi mengukur seberapa baik sebuah model statistik memprediksi sebuah hasil. Hasil tersebut diwakili oleh variabel dependen model. Ukuran R^2 direpresentasikan sebagai nilai antara 0,0 dan 1,0, di mana nilai 1,0 menunjukkan korelasi yang sempurna. Semakin dekat nilai R^2 dengan nilai 1,0, maka model tersebut dapat diandalkan untuk prakiraan masa depan, sementara nilai 0,0 menunjukkan bahwa tidak ada hubungan atau fungsi ketergantungan dari dua variabel (Herwanto et al., 2019).

Rumus untuk mendapatkan koefisien determinasi dengan menggunakan koefisien korelasi (Ndruru et al., 2014):

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y}_i)^2} \tag{4}$$

Keterangan:

- Y_i = nilai pengamatan ke i
- \hat{Y}_i = nilai dugaan ke i
- \bar{Y}_i = Rata-rata nilai pengamatan
- n = jumlah pengamatan

Model dapat divalidasi dengan membandingkan output dengan data lapangan yang sesuai dengan skenario yang disimulasikan. Validasi model juga bermanfaat dalam mengurangi biaya, menemukan lebih banyak kesalahan, skalabilitas dan fleksibilitas, serta meningkatkan kualitas model (Bustomi & Yulianti, 2013). Rumus untuk menentukan validasi model sebagai berikut:

$$Bias = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)}{n} \tag{5}$$

$$MSEP = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n} \tag{6}$$

$$EI = \sum_{i=1}^n |Y_i - \hat{Y}_i| \quad (7)$$

Keterangan:

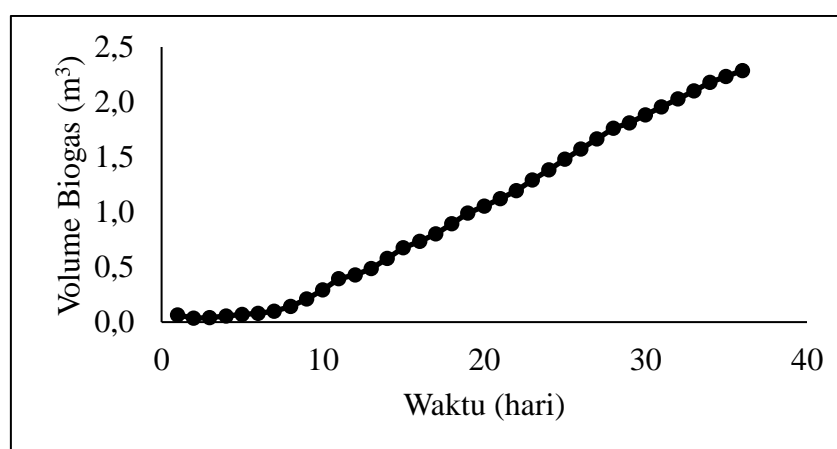
Y_i = nilai pengamatan ke i

\hat{Y}_i = nilai dugaan ke i

n = jumlah pengamatan

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perubahan volume dalam biogas dapat dilihat pada Gambar 3. Volume maksimal biogas bernilai 2,87 m³. Volume maksimal ini didapatkan dengan menggunakan rumus ketinggian maksimum pada drum penampung gas dikalikan dengan diameter drum penampung.



Gambar 3. Volume biogas selama pengamatan

Gambar 3 menunjukkan kenaikan volume biogas dari hari pertama hingga hari ke-36. Dalam penelitian ini digunakan bahan penghasil biogas dari kotoran sapi. Penggunaan kotoran sapi karena ketersediaannya yang sangat besar. Bahan ini memiliki keseimbangan nutrisi, mudah diencerkan dan relatif dapat diproses dibandingkan dengan kotoran yang lama dan atau telah dikeringkan, disebabkan karena hilangnya substrat volatil solid selama waktu pengeringan (Gunnerson & Stuckey, 1986). Kotoran sapi sangat cocok sebagai sumber penghasil biogas maupun sebagai biostarter dalam proses fermentasi, karena kotoran sapi tersebut telah mengandung bakteri penghasil gas metan yang terdapat dalam perut hewan ruminansia (Sulistiyanto et al., 2016).

Kotoran sapi merupakan substrat yang dianggap paling cocok sebagai sumber gas bio, karena substrat tersebut telah mengandung bakteri penghasil gas metan yang terdapat dalam perut hewan ruminansia. Keberadaan bakteri di dalam usus besar ruminansia tersebut membantu fermentasi, sehingga proses pembentukan gas bio pada digester dapat dilakukan lebih cepat (Syamsuri et al., 2015).

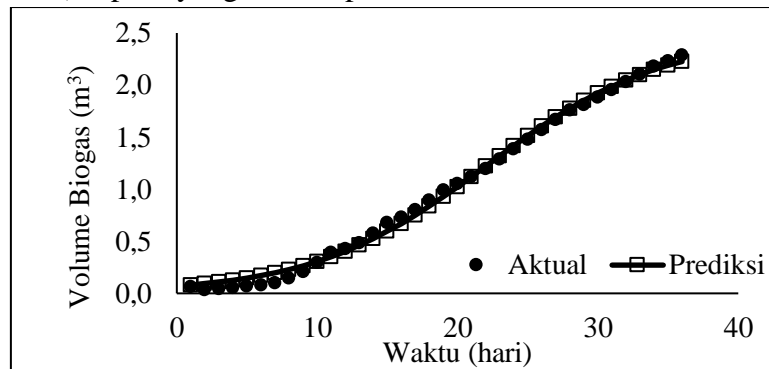
Dari Gambar 2, terlihat pembentukan biogas cenderung landai pada hari pertama hingga ketujuh dengan laju pembentukan biogas rata-rata 0,01 m³/hari dan mulai terlihat kenaikan yang signifikan dari hari ke delapan hingga hari ke-36 dengan laju rata-rata pembentukan biogas berkisar 0,07 m³/hari. Tingginya laju pembentukan biogas hingga hari ke-35 dikarenakan pembentukan gas metana masih terus berlangsung, namun pada hari ke 36 laju

pembentukan biogas menunjukkan penurunan, hal ini menunjukkan produksi biogas sudah mulai berkurang. Walaupun laju pembentukan biogas menurun namun produksi biogas tetap berlangsung.

Pembentukan gas melalui reaktor biogas dapat dibuat model matematik yang bertujuan untuk melakukan prediksi jumlah biogas yang tertampung. Dalam penelitian ini model yang digunakan adalah model Logistik dan model Gompertz. Alasan menggunakan model ini karena kedua model merupakan model yang dibangun berdasarkan data non linier. Dari grafik Gambar 2 memperlihatkan grafik non linier dari pembentukan biogas. Dari kedua mdel ini, akan dibandingkan model yang memiliki nilai prediksi yang paling akurat dan mendekati kondisi aktual. Dari hasil analisa terhadap kedua model matematik, diperoleh nilai prediksi jumlah biogas yang dihasilkan dari model Logistik adalah:

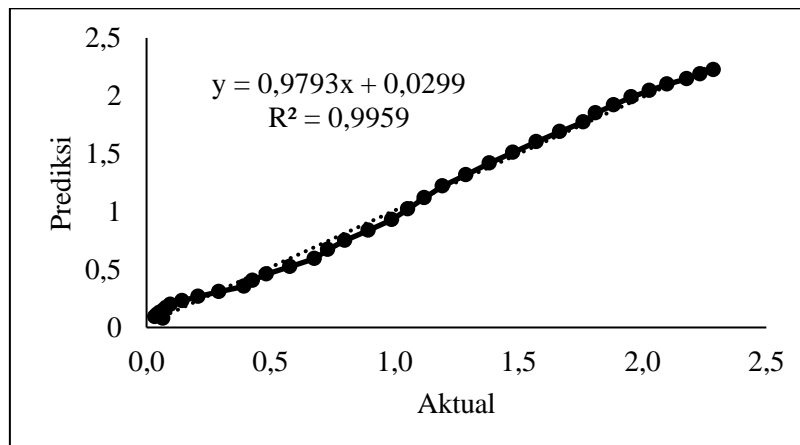
$$f(t) = \frac{2,46}{(1 + 35,064e^{-0,16t})}$$

f(t) merupakan jumlah biogas yang dihasilkan. Dari persamaan yang dihasilkan dari model Logistik, akan diplotkan dalam bentuk gambar untuk melihat perbandingan hasil aktual dengan hasil prediksi (model) seperti yang terlihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Perbandingan volume biogas aktual dan prediksi model Logistik

Dari Gambar 4, dapat ditunjukkan bahwa volume biogas hasil prediksi menunjukkan data yang berimpit dengan volume biogas aktual. Hasil prediksi ini kemudian akan dicari nilai koefisien determinasi (R^2) untuk melihat seberapa kuat hubungan data aktual volume biogas dengan data prediksi volume biogas. Hasil dari koefisien determinasi dapat dilihat pada Gambar 5.

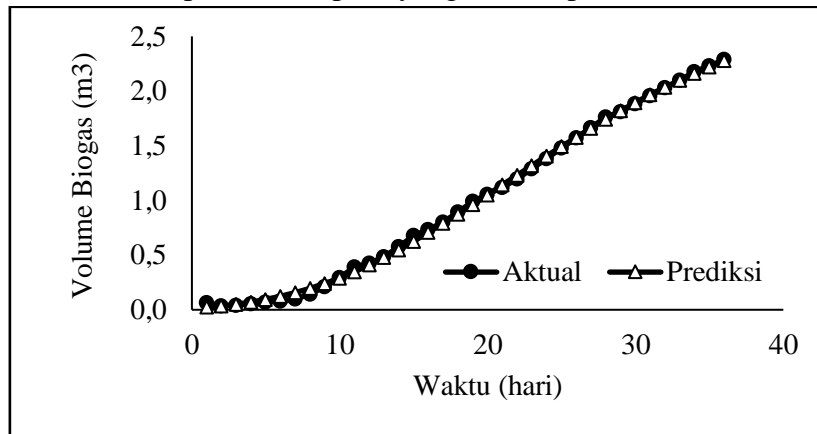


Gambar 5. Koefisien determinasi (R^2) aktual dan prediksi model Logistik

Hasil koefisien determinasi pada Gambar 4 menunjukkan nilai sebesar 0,99 mendekati nilai 1. Artinya terdapat hubungan yang kuat antara nilai prediksi dan aktual. Dapat ditarik kesimpulan bahwa model Logistik dapat memprediksi volume biogas. Selanjutnya adalah hasil analisis volume biogas dari model Gompertz didapatkan persamaan:

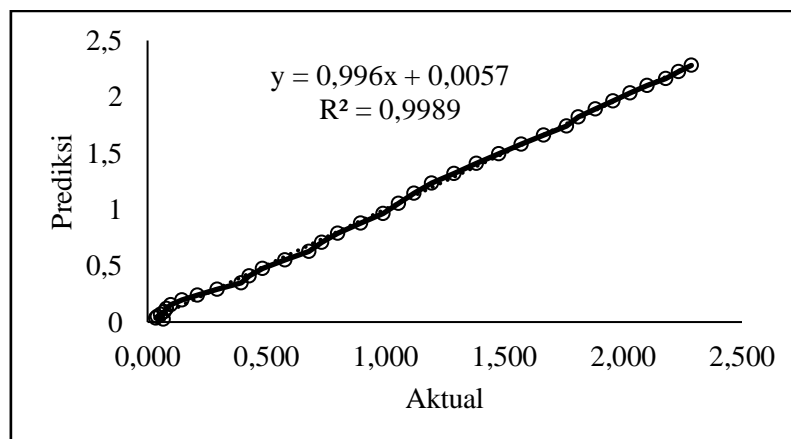
$$f(t) = 3,1 \exp(-e^{(1,64-0,07t)})$$

f(t) merupakan jumlah biogas yang dihasilkan. Dari persamaan tersebut kemudian di plotkan dalam grafik untuk melihat perbandingan volume biogas aktual dengan volume biogas yang dihasilkan dari model (prediksi) seperti yang terlihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Perbandingan volume biogas aktual dan prediksi model Gompertz

Penggunaan model Gompertz dapat digunakan untuk memprediksi volume biogas. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 5, perbandingan data aktual dan data prediksi tidak menunjukkan adanya simpangan yang signifikan. Perbandingan data aktual dan data prediksi kemudian dicari koefisien determinasi (R^2) untuk melihat seberapa kuat hubungan data aktual dengan data prediksi. Gambar 7 menunjukkan nilai koefisien determinasi (R^2) dengan menggunakan model Gompertz.



Gambar 7. Koefisien determinasi (R^2) aktual dan prediksi model Gompertz

Gambar 7 memperlihatkan nilai koefisien determinasi (R^2) dengan menggunakan model Gompertz. Nilai R^2 yang didapatkan adalah 0,998. Nilai ini mendekati 1, artinya hubungan volume biogas aktual dengan volume biogas prediksi memiliki hubungan yang kuat. Dapat disimpulkan bahwa metode Gompertz dapat digunakan untuk memprediksi volume biogas.

Dari hasil penelitian diperoleh kesimpulan bahwa model Logistik dan Gompertz mampu membuat model dari grafik non linier dengan nilai R^2 rata-rata di atas 0,99. Hal ini menunjukkan bahwa model Logistik dan Gompertz mampu melakukan prediksi volume biogas dengan sangat baik. Untuk menguji keabsahan kedua model tersebut maka perlu dilakukan uji validitas model.

Validasi model

Uji validasi model digunakan untuk membantu pengambilan keputusan model yang dapat dipercaya dan digunakan sebagai bagian dari proses pengambilan Keputusan (Supangat et al., 2018). Model dianggap baik jika nilai Bias dan MSEP mendekati nol serta mempunyai nilai EI terkecil. Tabel 1 menunjukkan nilai Bias, MSEP, dan EI dari model Logistik dan model Gompertz.

Tabel 1. Perbandingan uji validasi model

	Bias	MSEP	EI
Logistik	0,016	0,005	0,329
Gompertz	0,002	0,000	0,058

Hasil validasi pada Tabel 1 menunjukkan bahwa penduga model terbaik untuk memprediksi pertumbuhan tinggi adalah model Gompertz karena memiliki nilai Bias, MSEP, dan EI lebih kecil daripada model Logistik.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian diperoleh bahwa model Logistik dan model Gompertz dapat digunakan untuk memprediksi pembentukan volume biogas gas dengan koefisien determinasi (R^2) rata-rata 0,99. Selanjutnya dari kedua model matematik didapatkan model Gompertz lebih baik dalam memberikan nilai prediksi dilihat dari nilai Bias, MSEP, dan EI yang lebih kecil daripada model Logistik.

DAFTAR PUSTAKA

- Aznan, M. F. N., Yasin, N. H. M., Mohd, N., & Takriff, M. S. (2022). Growth kinetics determination using different mathematical models for microalgae *Characium* sp. UKM1, *Chlorella* sp. UKM2 and *Coelastrella* sp. UKM4. *ASM Science Journal*, 17.
- Bustomi, S., & Yulianti, M. (2013). Model Hubungan Tinggi dan Diameter Pohon Akasia (*Acacia auriculiformis*) Sebagai Penghasil Kayu Energi di Kabupaten Purwokerto Provinsi Jawa Tengah. *Jurnal Penelitian Hutan Tanaman*, 10(3), 155–160.
- Fitria, R., & Luthfi, S. A. C. (2022). Optimalisasi Biogas Dari Kotoran Sapi Dengan Penambahan Bahan Organik Dari Limbah Pertanian dan Pasar. *Agrisaintifika*, 6(1).
- Gunnerson, C., & Stuckey, D. (1986). *Integrated resource recovery. Anaerobic digestion: principles and practices for biogas systems*. The World Bank.
- Herwanto, H. W., Widiyaningtyas, T., & Indriana, P. (2019). Penerapan Algoritme Linear Regression untuk Prediksi Hasil Panen Tanaman Padi. In *JNTETI* (Vol. 8, Issue 4).
- Khaidir. (2016). Pengolahan Limbah Pertanian Sebagai Bahan Bakar Alternatif Agricultural Waste Processing As Alternative Fuels. *Jurnal Agrium*, 13(2), 63–68.

- Ndruru, R. E., Situmorang, M., & Tarigan, G. (2014). Analisa Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Hasil Produksi Padi di Deli Serdang. *Saintia Matematika*, 2(1), 71–83.
- Putra, G. M. D., Abdullah, S. H., Priyati, A., Setiawati, D. A., & Muttalib, S. A. (2017). Rancang Bangun Reaktor Biogas Tipe Portable Dari Kotoran Ternak Sapi. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian Dan Biosistem*, 5(1).
- Putra, G. M. D., Setiawati, D. A., & Murad. (2021). Study of mathematics modeling on ginger geometric changes during drying using image analysis. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 733(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/733/1/012002>
- Rahmat, F. N. (2023). Analisis Pemanfaatan Sampah Organik Menjadi Energi Alternatif Biogas. *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan*, 4(2), 118–122. <https://doi.org/10.14710/jebt.2023.16497>
- Rouf, A., Setiono, S., & Santosa, A. (2013). Urgensi Sensus Lilit Batang Sejak TBM 1 Sebagai Strategi Meningkatkan Keragaan dan Keseragaman Tanaman Karet. *Warta Perkaratan*, 32(2), 95–104.
- Setiawati, D. A., Sutiarso, L., Ngadisih, N., Murtiningrum, M., Nugroho, A. P., Putra, G. M. D., & Chaer, M. S. I. (2023). Mathematic Modelling of Bok Choy Plant Canopy Area on Different Artificial Light at Plant Factory. *Proceedings of the International Conference on Sustainable Environment, Agriculture and Tourism (ICOSEAT 2022)*, 26, 3–11. https://doi.org/10.2991/978-94-6463-086-2_2
- Setiawati, D. A., Utomo, S. G., Murad, & Putra, G. M. D. (2021). Design of temperature and humidity control system on oyster mushroom plant house based on Internet of Things (IoT). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 712(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/712/1/012002>
- Sulistiyanto, Y., Sustiyah, S., Zubaidah, S., & Satata, B. (2016). Pemanfaatan Kotoran Sapi Sebagai Sumber Biogas Rumah Tangga di Kabupaten Pulang Pisau Provinsi Kalimantan Tengah. *Jurnal Udayana Mengabdikan*, 15(2).
- Supangat, A. B., Sudira, P., Supriyo, H., & Poedjirahajoe, E. (2018). Simulasi Model Dinamik Pengaruh Legume Cover Crops (LCC) Terhadap Limpasan dan Sedimen di Lahan Hutan Tanaman. *Jurnal Penelitian Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*, 2(1), 17–34. <https://doi.org/10.20886/jppdas.2018.2.1.17-34>
- Syamsuri, Suheni, Wulandari, Y., & Taufik. (2015). Analisa Performansi Kompor Biogas Dengan Volume Penampung Biogas 1 M3 Yang Dihasilkan Dari Reaktor Dengan Volume 5000 Liter. *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi Terapan III*, 151–162.
- Togelang, R. J., Rumbayan, M., & Mangindaan, G. (2022). Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Biogas Skala Kecil Di Desa Kiama Talaud.