

PERAMALAN PRODUKSI AIR LIMBAH INDUSTRI TAHU DAN TEMPE DI INDONESIA

FORECASTING THE PRODUCTION OF TOFU AND TEMPEH WASTEWATER IN INDONESIA

Zuhrotul Mujayyanah^{1*}, Erdi Suroso¹, Tanto Pratondo Utomo¹, Sri Hidayati¹, Suharyono¹
Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung
*email korespondensi: muzay.azzuhro@gmail.com

Tanggal masuk: 13 Desember 2024

Tanggal diterima: 25 Januari 2025

Abstract

Forecasting the production of tofu and tempe industrial wastewater in Indonesia aims to determine the potential for pollution and energy that can be utilized. Forecasting is done using the POM-QM software for windows 4. The data used is the last 6 years of national soybean consumption, namely from 2018 to 2023. The forecasting model uses the Time Series with the methods of Moving Average and Linear Regression. Based on MAD, MSE, and MAPE values, the best method for forecasting national soybean consumption in 2024 is Linear Regression with a forecasting result of 1,846,288,000 kg. The projected production of tofu and tempe industrial wastewater in Indonesia in 2024 is 153,586,868.34 m³. The potential for methane gas (CH₄) produced from forecasting the production of tofu and tempeh liquid waste in Indonesia in 2024 is 19,030,484,523,225.50 m³.

Keywords: Forecasting, Moving Average, Linear Regression, tofu, tempeh

Abstrak

Peramalan produksi limbah cair industri tahu dan tempe di Indonesia bertujuan untuk mengetahui potensi pencemaran serta energi yang dapat dimanfaatkan. Peramalan dilakukan dengan menggunakan *software POM-QM for windows 4*. Data yang digunakan merupakan konsumsi kedelai nasional 6 tahun terakhir, yaitu dari tahun 2018 sampai dengan 2023. Model peramalan menggunakan *Time Series* dengan metode berupa *Moving Average* dan *Linear Regression*. Berdasarkan nilai MAD, MSE, dan MAPE, metode terbaik untuk peramalan konsumsi kedelai nasional pada tahun 2024 yaitu *Linear Regression* dengan hasil peramalan sebanyak 1.846.288.000 kg. Proyeksi produksi limbah cair industri tahu dan tempe di Indonesia pada tahun 2024 yaitu sebanyak 153.586.868,34 m³. Potensi gas metan (CH₄) yang dihasilkan dari peramalan produksi limbah cair tahu dan tempe di Indonesia pada tahun 2024 yaitu sebesar 19.030.484.523.225,50 m³.

Kata kunci: Peramalan, *Moving Average*, *Linear Regression*, tahu, tempe.

PENDAHULUAN

Pencemaran lingkungan merupakan isu terbesar yang saat ini sedang dihadapi oleh hampir seluruh negara di dunia, termasuk Indonesia. Salah satu sumber pencemar yang mengakibatkan bertambahnya beban kerusakan lingkungan yaitu adanya kegiatan industri. Menurut IEEP dan REC (2014), menyatakan bahwa sebesar 60% potensi GRK berasal dari kegiatan industri.

Salah satu industri yang berpotensi sebagai penyumbang kerusakan lingkungan yaitu industri pengolahan tahu dan tempe. Bentuk pencemar yang paling banyak dihasilkan dari industri tahu dan tempe yaitu berupa limbah cair. Air limbah hasil proses produksi tahu dan tempe yang dilepas ke badan air sebelum memenuhi baku mutu dapat mengganggu kehidupan biotik dan abiotik suatu perairan (Ildholy, et al., 2019). Hal ini dikarenakan komponen pencemar

terutama COD dan BOD yang terkandung di dalam limbah masih tinggi. Berdasarkan penelitian Cahyani, dkk., (2020), menyatakan bahwa karakteristik limbah tahu berupa COD yaitu sebesar 29.700 mg/L; BOD sebesar 8.852 mg/L; dan pH sebesar 3,6, sedangkan karakteristik limbah tempe berupa COD sebesar 13.850 mg/L; BOD sebesar 9.200 mg/L; dan pH sebesar 4,62 (Jaya, dkk., 2018).

Salah satu sumber emisi industri tahu dan tempe juga berasal dari adanya penggunaan bahan bakar fosil maupun kayu bakar. Menurut Putri, et al., (2022), menyatakan bahwa potensi emisi industri tahu dengan kapasitas produksi 78 kg kedelai per hari berdasarkan identifikasi mulai dari budidaya, transportasi, pengairan, proses produksi, energi untuk memasak, dan listrik didapatkan hasil sebesar 0,426 CO² eq/kg tahu. Sedangkan menurut Ildholy, et al., (2019) menyatakan bahwa industri tempe dengan kapasitas produksi 250 kg kedelai per hari berpotensi menghasilkan emisi sebesar 0,323 CO² eq/kg tempe. Berdasarkan data-data tersebut diketahui bahwa industri tahu dan tempe berpotensi meningkatkan dampak buruk ke lingkungan udara.

Selain dampak negatif terhadap lingkungan, ketersediaan bahan bakar fosil berupa gas alam juga terancam mengalami kelangkaan. Menurut Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi (2021), menyatakan bahwa cadangan gas bumi Indonesia dari tahun 2016 hingga 2020 terus mengalami penurunan. Data cadangan gas bumi pada tahun 2016 sampai dengan 2020 secara berturut-turut yaitu sebesar 144,06 TSCF, 142,72 TSCF, 135,55 TSCF, 77,29 TSCF, dan 62,39 TSCF. Kondisi tersebut perlu

secepatnya ditindak lanjuti dengan melihat peluang serta potensi alternatif energi yang dimiliki oleh negara Indonesia.

Salah satu potensi yang dapat dimanfaatkan yaitu limbah yang dihasilkan dari industri pengolahan hasil pertanian. Oleh karena itu dilakukan peramalan potensi produksi limbah cair industri tahu dan tempe di Indonesia untuk mengetahui potensi energi yang dapat dimanfaatkan.

BAHAN DAN METODE

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu data konsumsi kedelai 6 tahun terakhir yang didapatkan dari data Kementerian Pertanian 2022. Alat *forecasting* yang digunakan yaitu *software POM QM for windows 4*.

Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan model peramalan (*forecasting*) *Time Series*, yaitu *Moving Average* dan *Linear Regression/Least Square*. Metode *forecasting* terbaik ditentukan dengan melihat kesalahan (*error*) yang didapatkan dari nilai *Mean Absolute Deviation* (MAD), *Mean Squared Error* (MSE), *Mean Absolute Person Error* (MAPE).

a. Moving Average

Metode *Moving Average* meratakan nilai dari suatu data kemudian menggunakan hasil rata-rata tersebut untuk melakukan peramalan pada periode berikutnya (Stevenson dan Chuong, 2014). Rumus perhitungan *Moving Average* disajikan sebagai berikut:

$$F_t = MA_n = \frac{\sum_{i=1}^n A_{t-i}}{n}$$

Keterangan:

F_t = prediksi untuk periode waktu

MA_n = rata-rata bergerak periode n

A_{t-i} = nilai aktual pada periode $t=i$

n = jumlah periode (titik data) dalam rata-rata bergerak

b. Linear regression

Linear Regression merupakan suatu metode yang digunakan untuk melihat hubungan antara variabel terikat dengan satu variabel bebas atau lebih (Khan, dkk, 2022). Berikut merupakan rumus *Linear Regression* sederhana yang digunakan.

$$Y = \alpha + bX$$

Keterangan:

Y = garis regresi atau variabel terikat

α = konstanta

b = konstanta regresi

X = variabel bebas

Nilai konstanta α dan b dapat ditentukan menggunakan persamaan:

$$\alpha = \frac{(\sum Y_i)(\sum X_i^2) - (\sum X_i Y_i)}{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2}$$

$$b = \frac{n(\sum Y_i) - (\sum X_i)(\sum Y_i)}{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2}$$

Keterangan:

n = jumlah

Rumus Perhitungan Potensi Gas Metan

Potensi energi berupa gas metan yang dihasilkan dari limbah cair tahu dan tempe dihitung berdasarkan rumus berikut ini:

1. COD removal

$$COD_r = (COD_{in} - COD_{out})$$

Keterangan:

COD_r = penyisihan COD (g/hari)

COD_{in} = COD inlet (mg/L)

COD_{out} = COD outlet (mg/L) (Pertiwi, dkk, 2014)

2. Potensi gas metan (CH_4)

$$CH_4 = COD_r \times 0,35^*$$

Keterangan:

CH_4 = potensi metana (m^3 /hari)

COD_r = penyisihan COD (g/hari)

*) 1 kg $COD_r = 0,35 m^3 CH_4$

(Tchobhanoglous, et al., 2003)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Peramalan (*Forecasting*) POM-QM

Data yang digunakan untuk peramalan konsumsi kedelai di Indonesia pada tahun 2024 merupakan data konsumsi kedelai dari tahun 2018 sampai dengan 2023.. Data konsumsi kedelai tersebut didapatkan dari total konsumsi tahu dan tempe per tahun yang dikonversikan kedalam bentuk bahan mentah berupa kedelai pada satuan kilogram (Kementerian Pertanian, 2022). Hasil perhitungan menggunakan *software POM-QM* untuk metode peramalan *Moving Average* disajikan pada Tabel 1. berikut ini.

Table 1. Hasil perhitungan metode *Moving Average*

Tahun	Konsumsi Kedelai (kg)
2018*	1.785.029.300
2019*	1.723.283.200
2020*	1.747.773.200
2021*	1.826.246.000
2022*	1.835.800.890
2023*	1.821.369.680
<i>Forecasting (kg)</i>	
2024**	1.821.370.000

Keterangan: *) Kementerian Pertanian (2022)

**) *Forecasting POM-QM*

Nilai akurasi:

MAD = 37.743.620

MSE = 2.173.978.000.000.000

MAP= 0,021

Berdasarkan hasil peramalan konsumsi kedelai di Indonesia tahun 2024 pada Tabel 1. di atas menunjukkan hasil sebesar 1.789.917.000 kg. Jumlah tersebut didapatkan dari hasil perhitungan rata-rata data 6 tahun sebelumnya, yaitu dari tahun 2018 sampai dengan 2023. Nilai *Moving Average period to average (n)* yaitu sebesar 0,6.

Selanjutnya yaitu peramalan konsumsi kedelai nasional dengan menggunakan metode *Linear Regression*. Hasil perhitungan disajikan pada Tabel 2. di bawah ini.

Table 2. Hasil perhitungan metode *Linear Regression*

Tahun	Konsumsi kedelai (kg)	<i>Future period</i>	<i>Forecasting (kg)</i>
2018*	1.785.029.300	2024**	1.846.288.000
2019*	1.723.283.200	2025**	1.862.394.000
2020*	1.747.773.200	2026**	1.878.500.000
2021*	1.826.246.000	2027**	1.894.606.000
2022*	1.835.800.890	2028**	1.910.712.000
2023*	1.821.369.680	2029**	1.926.818.000

Keterangan:*) Kementerian Pertanian (2022)

**) *Forecasting POM-QM*

Nilai akurasi:

MAD= 28.459.290

MSE= 927.832.900.000.000

MAP= 0,016

Hasil perhitungan menggunakan metode *Linear Regression* menunjukkan bahwa pola peramalan konsumsi limbah sampai tahun 2029 terus mengalami peningkatan. Hal tersebut menunjukkan bahwa semakin bertambahnya tahun, beban pencemar dari kegiatan industri tahu dan tempe berupa limbah cair di Indonesia juga semakin tinggi. Kondisi tersebut diduga dipengaruhi oleh peningkatan konsumsi tahu dan tempe

akibat peningkatan jumlah penduduk di Indonesia. Menurut BPS (2015), menyatakan bahwa hasil proyeksi jumlah penduduk Indonesia sampai dengan tahun 2030 mengalami pertumbuhan sebesar 0,54% atau sebanyak 294,1 juta jiwa.

Perbandingan Nilai Akurasi Peramalan

Berdasarkan hasil perhitungan dengan menggunakan metode *Moving Average* dan *Linear Regression* diambil satu metode terbaik yang dinilai dapat menunjukkan akurasi lebih tinggi. Penilaian tingkat akurasi hasil peramalan dilihat dari nilai *Mean Absolute Deviation (MAD)*, *Mean Squared Error (MSE)*, *Mean Absolute Person Error (MAPE)*. Perbandingan nilai *error* disajikan pada Tabel 3. di bawah ini.

Tabel 3. Perbandingan nilai *error* berdasarkan MAD, MSE, dan MAPE

Metode	MAD	MSE	MAPE
<i>Moving Average</i>	37.743.620	2.173.978.000.000.000	0,21
<i>Linear Regression</i>	28.459.290	927.832.900.000.000	0,16

Berdasarkan perbandingan nilai *error* pada Tabel 3. di atas, dapat dilihat bahwa nilai *error* terkecil berada pada metode *Linear Regression*, sehingga dapat disimpulkan bahwa metode terbaik yang dapat digunakan untuk memprediksi konsumsi kedelai nasional pada tahun 2024 yaitu metode *Linear Regression*.

Peramalan Produksi Limbah Produksi Tahu dan Tempe di Indonesia

Limbah merupakan hasil produksi dari suatu industri yang dapat menimbulkan pencemaran bagi lingkungan apabila tidak ditangani dengan baik. Berdasarkan hasil peramalan dengan menggunakan metode *Linear*

Regression, total konsumsi kedelai di Indonesia pada tahun 2024 yaitu sebanyak 1.846.288.000 kg. Jumlah kedelai yang digunakan untuk produksi tahu dan tempe diasumsikan berdasarkan Badan Standarisasi Nasional (2012), yang menyatakan bahwa persentase konsumsi kedelai di Indonesia yang diolah menjadi tempe yaitu sebesar 50%, sedangkan untuk produk tahu yaitu sebesar 40%. Hasil perhitungan asumsi produksi tahu dan tempe di Indonesia disajikan pada Tabel 4. berikut ini.

Table 4. Asumsi produksi tahu dan tempe

Konsumsi Kedelai Nasional (kg)*	Jenis Produk	Asumsi Produksi (%)**	Konversi Ke dalam Bentuk Kedelai (kg)
1.846.288.000	Tahu	40	738.515.200
	Tempe	50	923.144.000
Total			1.661.659.200

Keterangan: *) Peramalan *Linear Regression*

**) Badan Standarisasi Nasional 2012

Proyeksi produksi limbah cair industri tahu dan tempe di Indonesia pada tahun 2024 diperoleh dari data peramalan konsumsi kedelai serta data primer hasil penelitian berupa neraca massa pengolahan kedelai dari tahap awal sampai dengan tahap akhir untuk mengetahui limbah yang dihasilkan per kg bahan baku mentah. Selanjutnya, data hasil penelitian tersebut akan digunakan sebagai faktor koreksi konversi bahan ke dalam bentuk limbah cair.

Secara rinci, hasil akhir peramalan produksi limbah cair industri tahu dan tempe di Indonesia didapatkan dari total konsumsi kedelai dikalikan dengan faktor koreksi. Faktor koreksi untuk konversi dari bentuk bahan mentah berupa kedelai ke dalam bentuk limbah cair disajikan pada Tabel 5. berikut ini.

Table 5. Faktor konversi kedelai ke dalam bentuk limbah cair tahu dan tempe

Bahan baku mentah	Jenis produk	Konversi ke dalam bentuk limbah cair (L)*
Kedelai	Tahu	51,17
Kedelai	Tempe	41,26

Keterangan: *) Data primer tahun 2022

Peramalan produksi limbah cair dari pengolahan tahu dan tempe pada tahun 2024 berdasarkan data pada Tabel 4. serta nilai faktor koreksi pada Tabel 5. didapatkan hasil sebanyak 85.021.562.400 L untuk jenis pengolahan produk tahu, sedangkan pengolahan tempe berpotensi menghasilkan limbah cair sebanyak 68.565.305.936,84 L. Proyeksi total limbah cair yang akan dihasilkan oleh kegiatan industri tahu dan tempe di Indonesia pada tahun 2024 berdasarkan data total penggunaan kedelai serta faktor koreksi yaitu sebanyak 153.586.868.336,84 L atau sebanyak 153.586.868,34 m³.

Potensi Gas Metan

Bahan bakar yang digunakan pada mayoritas pelaku industri tahu dan tempe merupakan kayu bakar dan gas LPG. Isu lingkungan mengenai kelangkaan bahan bakar kayu dan gas alam serta terus meningkatnya biaya pengadaan bahan bakar tersebut perlu mulai dipertimbangkan untuk beralih ke alternatif sumber energi lainnya, seperti biogas. Menurut (2020), menyatakan bahwa terjadi penurunan jumlah cadangan bahan bakar gas bumi dari tahun 2016 sampai dengan 2020 sebesar 43%.

Metan (CH₄) merupakan gas yang mempunyai sifat tidak berwarna, tidak berbau dan mudah terbakar. Sifat lainnya yang dimiliki gas metan (CH₄) yaitu mudah terbakar dan memiliki nilai kalor yang cukup tinggi (Hidayah, 2018). Potensi gas metan di Indonesia berdasarkan hasil analisis nilai COD limbah cair industri tahu dan tempe serta peramalan potensi produksi limbah cair

industri 2024 yaitu sebesar 19.030.484.523.225,50 m³.

KESIMPULAN

Metode peramalan konsumsi kedelai di Indonesia pada 2024 dengan nilai error terkecil yaitu *Linear Regression* dengan hasil sebanyak 1.846.288.000 kg kedelai. Total produksi limbah cair pengolahan produk tahu dan tempe di Indonesia pada tahun 2024 berdasarkan konversi data konsumsi kedelai serta data primer produksi limbah cair didapatkan hasil sebanyak 153.586.868,34 m³.

DAFTAR PUSTAKA

Badan Pusat Statistik. 2015. Proyeksi Penduduk Indonesia. BPS RI. Jakarta. 3-5.

Badan Standarisasi Nasional. 2012. Tempe: Persembahan Indonesia untuk Dunia. PUSIDO Badan Standarisasi Nasional. Jakarta. 1-17.

Cahyani, M. R., Zuhaela, I. A, Saraswati, T. E, Rahardjo, S. B, Pramono, E, Wahyuningsih, S, Lestari, W. W, Widjonarko, D. M. 2020. Pengolahan Limbah Tahu dan Potensinya. *Proceeding Of Chemistry Conferences*. 2(6): 27-33.

IEEP and REC. 2014. Contribution of Industry to Pollutant Emissions to Air and Water. Amec Environment and Infrastructure UK Limited. London. 1-293.

Hidayah, F.Z. 2018. Analisa Konsentrasi Gas Metana (CH₄) dan Karbondioksida (CO₂) Dari Tangki Septik pada Kegiatan Non Perumahan di Kelurahan Cupak Tengah, Kecamatan Pauh, Kota Padang. [Skripsi]. Universitas Andalas. Padang. 1-124.

Ifdholly, M, Wiloso, M. I., and Romli, M. 2019. Global Warming Impact and

Energy Analysis of Tempeh Made from Local and Imported Soybean. *Indonesian Journal of Life Cycle Assesment and Sustainability*. 2(2): 1-11.

Jaya, J. D., Ariyani, L, dan Hadijah. 2018. Perencanaan Produksi Bersih Industri Pengolahan Tahu di UD. Sumber Urip Pelaihari. *Jurnal Agroindustri*. 8(2): 105-112.

Kementerian Pertanian. 2022. Buletin Konsumsi Pangan. Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian Sekretariat Jenderal. 33-43.

Khan, S.P., Wahyudin, Ayuningtyas, S. M., Rohmah, W., Vindari, Z. I., Azzahra, A. G. Analisa Perbandingan Nilai Akurasi *Exponential Smoothing* dan *Linear Regression* pada Peramalan Permintaan *Part Joint Brake Rod* KTM. *Jurnal Serambi Engineering*. 8(1): 4251-4260.

Putri, A. M. H, dan Waluyo, J. 2022. Analysis of Potensial GHG Emission of Tofu Industry and Its Mitigation in Indonesia. *Jurnal Teknologi Lingkungan*. 23(1): 62-70.

Pertiwi, F., Saron, Hasanudin, U., dan Utomo, T. P. 2014. Efisiensi Energy Produksi Biogas Air Limbah Pabrik Kelapa Sawit pada Suhu Termofilik. *Jurnal Teknologi Industri dan Hasil Pertanian*. 19(1): 42-53.

Tchobanoglous, G., F. L. Burton, dan H. D. Stensel. 2003. Waste Water Engineering: Treatment And Reuse. Metcalf & Eddy Inc. New York.

Rovita, E. 2018. Produksi Biogas dari Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) Bekas Media Tumbuh Jamur Merang dengan Bioaktivator Kotoran Sapi. [Skripsi]. Universitas Lampung. Bandar Lampung. 1-62.

Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi.
2021. Statistik Minyak dan Gas
Bumi. Kementerian Energi dan
Sumber Daya Mineral. 29-28.

Stevenson W. J., dan Chuong, S. C. 2014.
Manajemen Operasi Perspektif
Asia. Salemba Empat.