

Studi Model *Domenico-Robbins* dan *Ogata-Banks* terhadap Pola Persebaran Lindi di TPA Ngipik Kabupaten Gresik

Abdillah Akmal Karami ^{1,*}, Ida Munfarida ², Shinfi Wazna Auvaria ³, Yusuf Tirta Negoro ⁴

¹²³⁴ Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sunan Ampel, Surabaya, Indonesia
*akmalkarami123@gmail.com

Abstract

Leachate is a secondary product from piles of waste that decomposition of microorganism. Ngipik landfill is a landfill with an open dumping waste management system. This causes the soil and ground water to be suspected of being polluted due to landfill leachate. For this reason, it is necessary to identify the pattern of distribution and pollution of landfill leachate in order to determine how far the landfill leachate moves. This research uses the analytical solution method of *Ogata-Banks* and *Domenico-Robbins* to build a model for the distribution of contaminants in groundwater. The model was formed using MATLAB with COD and BOD parameters. The model data is validated with field data obtained from wells around the landfill. The results of measuring the quality of 3 wells are 29.8-31.8 °C, pH 5.7-6.4, DO 4.6-8 mg/L, COD 36.5-140.5 mg/L, and BOD 12.1-40.35 mg/L. The model simulation shows that COD and BOD are not detected at a distance of ± 278 m and ± 401 m. The validation results of the two models show that the *Domenico-Robbins* model has an error of 0.0016 for COD and 0.000467 for BOD, while *Ogata-Banks* has an error of 0.00287 for COD and 0.00417 for BOD.

Keywords: *Domenico-Robbins*, Leachate, *Ogata-Banks*.

Abstrak

Lindi merupakan hasil produk sekunder dari tumpukan sampah yang mengalami dekomposisi mikroorganisme. TPA Ngipik merupakan TPA dengan sistem pengelolaan sampah *open dumping*. Hal ini menyebabkan tanah dan air tanah diduga tercemar akibat lindi TPA. Untuk itu perlu dilakukan identifikasi terkait pola penyebaran dan pencemaran lindi TPA guna mengetahui seberapa jauh lindi TPA bergerak. Penelitian ini menggunakan metode solusi analitik *Ogata-Banks* dan *Domenico-Robbins* untuk membangun model penyebaran kontaminan pada air tanah. Model dibentuk menggunakan MATLAB dengan parameter COD dan BOD. Selanjutnya data model divalidasi dengan data lapangan yang didapatkan dari sumur sekitar TPA. Hasil pengukuran kualitas air sumur pada 3 titik lokasi sampling sebesar 29,8-31,8 °C, pH 5,7-6,4, DO 4,6-8 mg/L, COD 36,5-140,5 mg/L, dan BOD 12,1-40,35 mg/L. Simulasi model menunjukkan bahwa COD dan BOD tidak terdeteksi pada jarak ± 278 m dan ± 401 m. Hasil validasi kedua model menunjukkan bahwa model *Domenico-Robbins* memiliki rata-rata eror sebesar 0,0016 untuk COD dan 0,000467 untuk BOD, sedangkan *Ogata-Banks* memiliki eror sebesar 0,00287 untuk COD dan 0,00417 untuk BOD.

Kata Kunci: *Domenico-Robbins*, Lindi, *Ogata-Banks*.

1. PENDAHULUAN

Sampah merupakan produk akhir dari proses pemanfaatan materi berupa kelebihan bahan yang tidak dapat digunakan kembali. Karakteristik sampah di wilayah Asia secara umum berupa 70 sampai 80% organik & sisanya residu (Mishra dkk., 2019). Tahun 2021, sekitar 67,2 ton sampah di Indonesia akan menumpuk jika tidak diolah dengan baik, dimana rincian sampah yang telah diolah didaur ulang sekitar 7% sedangkan sisanya

tetap ditimbun dan dibuang di TPA (Juliardi & Wiyanti, 2018).

Seiring dengan peningkatan jumlah timbulan sampah, dampak yang ditimbulkan akibat timbulan sampah menjadi masalah tersendiri salah satunya timbulan lindi dari tumpukan sampah tanpa pengolahan. Air dari tumpukan sampah umumnya secara homogen bercampur dengan air eksternal berupa air hujan sehingga dapat terjadi sewaktu-waktu.. (Wang dkk., 2018).

Lindi berasal dari beberapa timbulan sampah yang terhomogen dengan air hujan maupun dari air yang lainnya. Lindi tersebut keluar dari tumpukan sampah dan tidak dapat dikendalikan maka akan mengakibatkan terjadinya rembesan ke dalam tanah sehingga menimbulkan tercampurnya air tanah dengan lindi. Terlebih lagi, timbulan sampah di TPA juga mempunyai kandungan zat organik dengan tingkat kandungan mineral tinggi. Karakteristik lindi dari TPA tergantung pada umur lokasi TPA. Pertama, fase awal pada TPA (kurang dari 5 tahun), pH yang terkandung dalam lindi sekitar 4 - 6,5 umumnya terjadi pembentukan asam alkanoat lindi pada TPA dengan kurun waktu waktu relative lama dimana memiliki sifat pH basa antara kadar pH 8 - 8,5 (Rana, *et al.*, 2018). Air lindi memiliki rasio parameter COD dan BOD yang sangat rendah dengan nilai <0,4 yang menandakan zat organik air lindi memiliki sifat yang sulit untuk terdegradasi (Zaman & Istirokhatun, 2014).

Lindi TPA memiliki konsentrasi tinggi berupa amonium, senyawa orrganik, ion logam berat dan lain-lain. Beberapa konsentrasi tersebut dianggap sebagai air limba tahan api, sehingga jika akan dilakukan pengolahan lindi membutuhkan biaya cukup tinggi (Ye dkk., 2017). Selain itu, karakteristik khusus pada lindi tergantung pada tingkat pengelolaan, jenis sampah, siklus hidrogeologi dan sistem di suatu tempat, yaitu TPA. Umumnya lindi dipengaruhi oleh proses penguraian kimia, fisika, dan biologi baik dengan anaerob maupun aerob (Arsyadi, 2017).

Lindi memiliki tingkat rasio rata-rata kurang dari 4 antara parameter COD dan BOD. Hal ini biasanya ditandai sebagai senyawa organik dalam lindi lebih sukar didegradasi oleh mikroorganisme secara biologis (Zaman & Istirokhatun, 2014). Lindi umumnya mengandung nilai BOD dan COD dengan jumlah besar dimana mencerminkan konsentrasi bahan organik terlarut. Lindi memiliki jumlah konsentrasi polutan cukup besar sekitar 404 mg/L untuk BOD dan 838,1 mg/L untuk COD (Arbain, dkk., 2007). Jumlah tersebut melebihi ambang batas berdasarkan Peraturan Menteri LHK Nomor P.59 tahun 2016 sehingga memerlukan perlakuan khusus.

Lindi berasal dari tumpukan sampah hasil dekomposisi bahan karbon organik terlarut dari tempat pembuangan sampah. Kelarutan zat pencemar organik dapat sedikit terurai dengan ditingkatkannya karbon organik tinggi dalam lindi (Konig & Weiss, 2009).

Pengukuran COD dan BOD umumnya berfungsi untuk menghitung tingkat oksigen yang dibutuhkan sebagai pengoksidasi zat pencemar pada lindi sampah. Hal ini dapat menunjukkan bahwa jika tingkat kebutuhan oksigen tinggi maka semakin kecil tingkat *Dissolved Oxygen* (DO) atau oksigen terlarut. Selain itu, mikroorganisme juga memerlukan tingkat oksigen tinggi guna menguraikan zat kontaminan (Arbain dkk., 2007).

TPA Ngipik adalah salah satu TPA yang masih beroperasi di Kabupaten Gresik Jawa Timur. Menurut data SPKP Kabupaten Gresik Tahun 2020 menyebutkan bahwa timbulan sampah yang masuk ke TPA sebesar 582,11 m³/hari. Kondisi pengelolaan sampah di TPA Ngipik masih menerapkan metode *Open Dumping* dengan tanpa pengolahan sampah lanjutan. Jika lindi dibuang secara langsung di lingkungan maka akan menyebabkan kerusakan secara permanen. Kerusakan ini akan memiliki potensi mencemari air tanah dibawahnya (Arbain dkk., 2007). Penyebaran lindi juga dapat mengakibatkan biomagnifikasi berupa gangguan Kesehatan pada sumur warga di sekitar TPA (Pardosi & Nugroho, 2019).

Penelitian ini menggunakan persamaan pembentuk aliran atau biasa disebut sebagai *Governing*. Persamaan ini perlu penyelesaian berupa solusi numerik atau analitik agar dapat menginterpretasikan hasil sesuai kebutuhan. Salah satu fungsi persamaan pembentuk aliran yaitu untuk menggambarkan pola penyebaran polutan utama dari tiap-tiap parameter kontaminan dari sumber kontaminan menuju daerah pencemaran yang akan dituju (Pidriansy, 2013). Salah satu penyelesaian persamaan yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan 2 model rumus yaitu *Domenico-Robbins* dan *Ogata-Banks*. Penggunaan kedua rumus model ini untuk menggambarkan pola penyebaran kontaminan berupa lindi TPA hingga jarak terjauh dari TPA. Pola penyebaran lindi ini diasumsikan terjadi di dalam tanah sehingga air tanah yang berada dibawahnya ikut tercemar sehingga lindi akan terakumulasi dengan air tanah dan bergerak menjauh dari TPA. Hasil simulasi model tersebut akan divalidasi dengan menggunakan data lapangan sehingga akan memunculkan model yang palig akurat tingkat eror dari kedua model tersebut.

Berdasarkan permasalahan diatas, bentuk penyelesaian dengan menggunakan solusi analitik *Ogata-Banks* dan *Domenico-Robbins*

bisa dijadikan alat untuk memodelkan proses pergerakan penyebaran lindi TPA Ngipik sebagai informasi bagi masyarakat sekitar TPA. Selain itu, penelitian ini digunakan sebagai bentuk pentingnya pengelolaan lindi di TPA agar dapat melakukan Tindakan pencegahan terkait dampak pencemaran lindi jika benar-benar terjadi dampak buruk oleh lindi dan

dapat memberikan saran pengelolaan lindi dari jarak penyebaran lindi.

2. METODE PENELITIAN

Tempat dan Waktu Penelitian



Gambar 1. Lokasi Titik Sampling
(Sumber : Hasil Penelitian, 2022)

Penelitian dilakukan dengan menentukan titik lokasi pengambilan sampel air lindi dan air tanah dengan menggunakan sistem *sample survey method*. Selanjutnya, penentuan titik pengambilan sampel berdasarkan mudahnya mobilitas, biaya dan waktu penelitian (Williams, 2014).

Berdasarkan Gambar 1 Terdapat 1 titik pengambilan sampel lindi menggunakan kode T1 pada koordinat $7^{\circ}9'9.31''S$, $112^{\circ}37'53.65''E$. Sampel air tanah diambil dari 3 titik yang dibedakan berdasarkan jarak yang bervariasi dan mewakili populasi (Pidriansy, 2013), yaitu titik 1 dengan kode S1 memiliki koordinat $7^{\circ}9'8.10''S$, $112^{\circ}37'53.65''E$, titik 2 dengan kode S2 memiliki koordinat $7^{\circ}9'04.47''S$, $112^{\circ}37'57.09''E$, dan titik 3 dengan kode S3 memiliki koordinat $7^{\circ}09'08.15''S$, $112^{\circ}38'0.83''E$ yang merupakan pemukiman warga setempat.

Jarak titik pengambilan sampel air tanah secara berturut-turut dari S1 sampai dengan S3 yaitu 96 meter, 183 meter, dan 225 meter yang berlokasi di TPA Ngipik Kabupaten Gresik dan Balai Besar Teknik Kesehatan Lingkungan dan

Pengendalian Penyakit (BBTKLPP) Kota Surabaya untuk pengujian sampel lindi dan air tanah.

Pengambilan sampel dilaksanakan selama satu hari pada pagi hari, untuk menunjukkan karakteristik air lindi dan tanah sesungguhnya (Kurniawan, 2019).

Prosedur Penelitian dan Analisis Data

Pada penelitian ini memiliki prosedur yang dimulai dari persiapan dengan identifikasi masalah yang ditemukan sesuai kondisi tempat penelitian. Selanjutnya dilakukan pengkajian dengan studi literatur yang dapat untuk menentukan lokasi sampling dan mempersiapkan alat serta bahan untuk pengambilan data maupun pengujian sampel. Kemudian, didapatkan data sekunder yaitu peta topografi wilayah tempat penelitian dan peta jenis tanah dan wilayah studi penelitian menurut DLHK Gresik Tahun 2020. Sedangkan data primer, diambil dari data lokasi pengambilan sampel menurut SNI 6989:2008 dan karakteristik lindi dan kualitas air tanah dengan parameter BOD (SNI 6989.72:2009, 2009); COD (SNI 06-6989.2:2004, 2004); DO

(SNI 6989.72:2009, 2009); pH (SNI 6989.11:2019, 2004); serta suhu (SNI 06-6989.23:2005, 2019).

Pengambilan sampel air tanah berdasarkan (SNI 6989.58:2008, 2008) dan pengambilan air lindi berdasarkan (SNI 6989.59:2008, 2008) dengan pengambilan sampel sesuai dengan metode *duplo* dan pengambilan sesaat (*grab sampling*).

Penelitian ini menggunakan dua model analitik, yaitu model (Domenico & Robbins, 1985a) dan (Ogata & Banks, 1961) dengan hasil validasi model (RMSE) berfungsi untuk membandingkan keakuratan dalam memprediksi pola persebaran lindi pada lokasi penelitian.

Berikut perhitungan dalam model Domenico-Robbins dalam persamaan 1:

$$C_{(x,y,z)} = \left(\frac{C_0}{8}\right) \exp\left\{\left(\frac{x}{2a_x}\right)\left[1 - \left(1 + \frac{4\lambda a_x}{v}\right)^{\frac{1}{2}}\right]\right\} \operatorname{erfc}\left[\frac{Rx - vt\left(1 + \frac{4\lambda a_x}{v}\right)^{\frac{1}{2}}}{2(Ra_x vt)^{\frac{1}{2}}}\right] \left\{\operatorname{erf}\left[\frac{(y+\frac{y}{2})}{2(a_y x)^{\frac{1}{2}}}\right] - \operatorname{erf}\left[\frac{(y-\frac{y}{2})}{2(a_y x)^{\frac{1}{2}}}\right]\right\} \left\{\operatorname{erf}\left[\frac{(z+\frac{z}{2})}{2(a_z x)^{\frac{1}{2}}}\right] - \operatorname{erf}\left[\frac{(z-\frac{z}{2})}{2(a_z x)^{\frac{1}{2}}}\right]\right\} \quad (1)$$

Keterangan:

- C = Konsentrasi pencemar pada titik sumber
 x = posisi dari sumber pencemar keluar
 y = posisi dari titik tengah sumber pencemar
 z = posisi vertikal
 v = laju air tanah
 t = waktu (jam)
 λ = kecepatan peluruhan (/jam)
 Y = panjang sumber pencemar (cm)
 Z = Tinggi Muka air tanah (cm)
 α_x = Koefisien dispersivitas x (cm)
 α_y = Koefisien dispersivitas y (cm)
 α_z = Koefisien dispersivitas z (cm)

Berikut perhitungan dalam model Ogata-Banks dalam persamaan 2:

$$C_{(x,t)} = \frac{C_0}{2} \left\{ \operatorname{erfc}\left(\frac{Rx - v_x t}{2\sqrt{RD_x t}}\right) \right\} + \left(\exp\left(\frac{v_x x}{D_x}\right) * \operatorname{erfc}\left(\frac{Rx + v_x t}{2\sqrt{RD_x t}}\right) \right) \quad (2)$$

Dimana:

- C0 = Konsentarsi pencemar pada titik sumber (mg/L)
 T = waktu (jam)

- X = posisi dari sumber pencemar terhadap titik x (cm)
 Vx = Laju air tanah (cm/jam)
 Dx = Konstanta dispersi (cm²/jam)
 C = Konsentrasi pencemar pada titik x (mg/L)

Pengujian validasi model dihitung sesuai dengan rumus *Root Mean Square Error* (RMSE), dengan rumus persamaan sebagai berikut (Ghilani & Wolf, 2011):

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{\text{Jumlah Data}} \left(\frac{\text{Data Asli} - \text{Data Hasil Model}}{n}\right)^2} \quad (3)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengukuran Karakteristik Lindi

Lindi memiliki karakteristik bervariasi yang tergantung dari tingkat pengelolaan serta pengolahan yang dilakukan seperti dekomposisi biologi, fisika dan kimia secara anaerob maupun aerob oleh mikroorganisme jenis pengurai. Terbentuknya air lindi juga disebabkan oleh beberapa faktor dari jenis sampah yang dihasilkan dari kawasan daerah TPA, siklus hidrologi serta penerapan sistem pengoperasian (Rana dkk., 2018). Tabel 1 merupakan hasil pengukuran karakteristik air lindi yang diambil dari titik sampel inlet saluran drainase menuju IPAL TPA Ngipik Kabupaten Gresik.

Tabel 1. Karakteristik Lindi

Parameter	Unit	Hasil Uji Sampel	Baku Mutu
COD	mg/L	891,8	300
pH	-	6,7	6 - 9
BOD	mg/L	268,14	150
DO	mg/L	3,2	-
Suhu	°C	32,1	-

(Sumber : Hasil Penelitian, 2022)

Catatan: Standar Baku Mutu sesuai dengan Peraturan Pemerintah LHK No.P.59 Tahun 2016 Tentang Baku Mutu Lindi di TPA.

Tabel 1 menunjukkan bahwa tingginya tingkat COD dan BOD pada lindi TPA Ngipik. Hal ini menandakan bahwa tingkat oksigen terlarut untuk kebutuhan mikroorganisme menguraikan dan mengoksidasi bahan organik cukup tinggi (Andika, dkk., 2020). Hal ini juga berkaitan dengan DO, Ketika BOD tinggi maka DO akan rendah karena terdapat bakteri pengurai sehingga menyebabkan tingkat oksigen dalam lindi menjadi berkurang (Sawyer dkk., 2003). pH lindi pada TPA tergolong sesuai dengan baku mutu yang telah ditetapkan karena pH lindi berfluktuatif

disebabkan oleh kegiatan respirasi atau fotosintesis organisme akuatik. Angka pH lindi di TPA berkisar antara 1,5 sampai dengan 9,5 (Yatim & Mukhlis, 2013).

Hasil Pengukuran Kualitas Air Tanah

Air tanah pada kawasan TPA umumnya memiliki kemungkinan terbesar untuk dapat terkena kontaminasi pencemar akibat lindi (Arbain dkk., 2007). Pengukuran kualitas air tanah sekitar TPA Ngipik dapat ditinjau pada Tabel 2.

Tabel 2. Kualitas Air Tanah

Parameter	Unit	Hasil Uji Sampel			Baku Mutu
		S1	S2	S3	
pH	-	5,8	6,4	5,7	6 - 9
COD	mg/L	140,5	41	36,5	10 - 80
DO	mg/L	5,3	8	4,6	6
BOD	mg/L	40,35	13,8	12,1	2 - 12
Suhu	°C	31,8	29,8	30,1	22 - 28

(Sumber : Hasil Penelitian, 2022)

Catatan: Standar Baku Mutu sesuai dengan PP RI No.22 Tahun 2021 Tentang Baku Mutu Air Nasional (Lampiran VI)

Model Analitik

Simulasi model dilakukan dengan mempersiapkan data asumsi model yang berfungsi untuk membangun model itu sendiri. Data ini terdiri data primer dan sekunder yang dikombinasikan jadi satu sesuai dengan kebutuhan rumus model yaitu solusi analitik *Ogata-Banks* dan *Domenico-Robbins*. Data asumsi model dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Data Pengembangan Model

Parameter	Nilai	Unit	Sumber Data
Waktu (t)	18	Tahun	Data Primer
Kedalaman Sumur (m)	4	m	Data Primer
Porositas Tanah (n)	0,37	-	(USDA, 1999)
Dispersivitas Transversal (a_y)	0,33	m	(Tong & Rong, 2013)
Konduktivitas Hidrolik (K)	0,42	m/hari	(USDA, 1999)
BOD (CO)	268,14	mg/L	Laboratorium
Kd BOD	0,114	L/kg	(USDA, 1999)
Dispersivitas Universal (a_z)	0,056	m	(Tong & Rong, 2013)
Dispersivitas Longitudinal (a_x)	0,1	m	(Tong & Rong, 2013)
Lebar Sumber Pencemar (m)	351,22	m	Data Primer
Kd COD	0,136	L/kg	(USDA, 1999)
COD (CO)	891,8	mg/L	Laboratorium

(Sumber : Hasil Penelitian, 2022)

Tabel 3 menunjukkan bahwa tidak semua komposisi model terdiri dari data sekunder atau studi literatur, seperti konsentrasi pencemar, kedalaman sumur, lebar sumber, dan waktu. Data konsentrasi pencemar lindi diperoleh dari pengukuran di laboratorium berupa kadar BOD dan COD masing-masing sebesar 268,14 mg/L dan 891,8 mg/L. Pemilihan parameter ini didasarkan pada tingkat ketahanan dan toksisitasnya di lingkungan. Parameter tersebut juga termasuk senyawa metilen klorida. Senyawa ini merupakan senyawa organik yang biasa ditemukan pada lindi TPA (Domenico & Robbins, 1985). Selain itu, kedua parameter ini juga dapat memprediksi umur TPA dengan perbandingan rasio antara COD dan BOD (Zaman & Istirokhatun, 2014). Data kedalaman sumur, waktu TPA, dan lebar sumber pencemar lindi diperoleh dari pengukuran langsung dilapangan. Untuk nilai dispersivitas universal (a_z), transversal (a_y), dan longitudinal (a_x) didapatkan dari studi literatur dari (Tong & Rong, 2013). Selain itu, kecepatan air tanah pada model ini menggunakan konduktivitas hidrolis yang diperoleh dari data sekunder TPA Ngipik tahun 2021 yaitu dengan jenis tanah Alluvial sebesar 0,42 m/hari. Koefisien distribusi masing-masing parameter COD dan BOD sebesar 0,136 L/kg dan 0,114 L/kg. Data porositas tanah, konduktivitas hidrolis dan koefisien distribusi diperoleh dari (USDA, 1999).

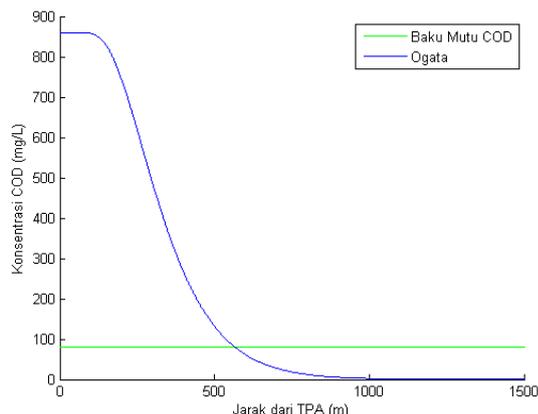
Hasil Simulasi Model

Perhitungan simulasi model menggunakan MATLAB dilakukan dengan menghitung terlebih dahulu retardasi, kecepatan air tanah dan lain-lain sesuai dengan data yang dibutuhkan oleh kedua model tersebut.

Hasil pengukuran kualitas air tanah TPA Ngipik pada Tabel 2 titik lokasi sampling S1, S2, dan S3 berturut-turut menunjukkan hasil COD sebesar 140,5 mg/L, 41 mg/L, dan 36,5 mg/L. Sedangkan parameter BOD didapatkan hasil sebesar 40,35 mg/L, 13,8 mg/L dan 12,1 mg/L. Untuk hasil model *Ogata-Banks* parameter COD pada S1, S2, dan S3 berturut-turut menunjukkan angka 140,4975 mg/L, 40,9988 mg/L, dan 36,4951 mg/L. Sedangkan parameter BOD didapatkan hasil sebesar 40,345 mg/L, 13,7963 mg/L, dan 12,0962 mg/L. Untuk simulasi model *Domenico-Robbins* pada S1, S2, dan S3 berturut-turut menunjukkan hasil COD sebesar 140,5001 mg/L, 41,0037 mg/L, dan 36,501 mg/L. Sedangkan hasil simulasi model 2 dimensi

parameter BOD pada S1, S2, dan S3 berturut-turut yaitu 40,3506 mg/L, 13,8001 mg/L, dan 12,1007 mg/L.

Simulasi model dilakukan untuk memprediksi situasi lingkungan akibat kadar kontaminan lindi akibat adanya TPA Ngipik. Selain itu, output model ini juga berguna untuk menghitung kondisi lingkungan pada tahun yang akan datang serta penggambaran bagaimana model distribusi lindi berdasarkan pada kadar COD dan BOD dalam kurun waktu tertentu.

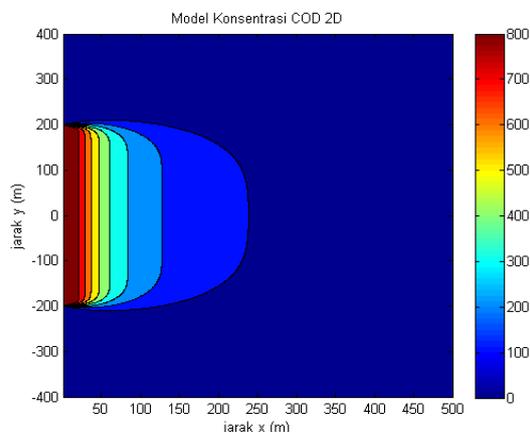


Gambar 2. Hasil Simulasi COD (Ogata-Banks) (Sumber : Hasil Penelitian, 2022)

Gambar 2 dan 5 menunjukkan informasi mengenai model distribusi lindi pada t = 18 tahun dengan model satu arah atau 1 dimensi. Output laporan berupa konsentrasi kontaminan lindi pada kadar COD dan BOD tersebar dan terurai pada posisi ±568 m dan ±738 m dari TPA. Untuk jarak masing-masing ±68 m dan ±85 m, parameter COD dan BOD mulai menyebar karena infiltrasi tanah, sehingga seiring berjalannya waktu konsentrasi COD dan BOD menurun seiring dengan bertambahnya jarak antara tempat

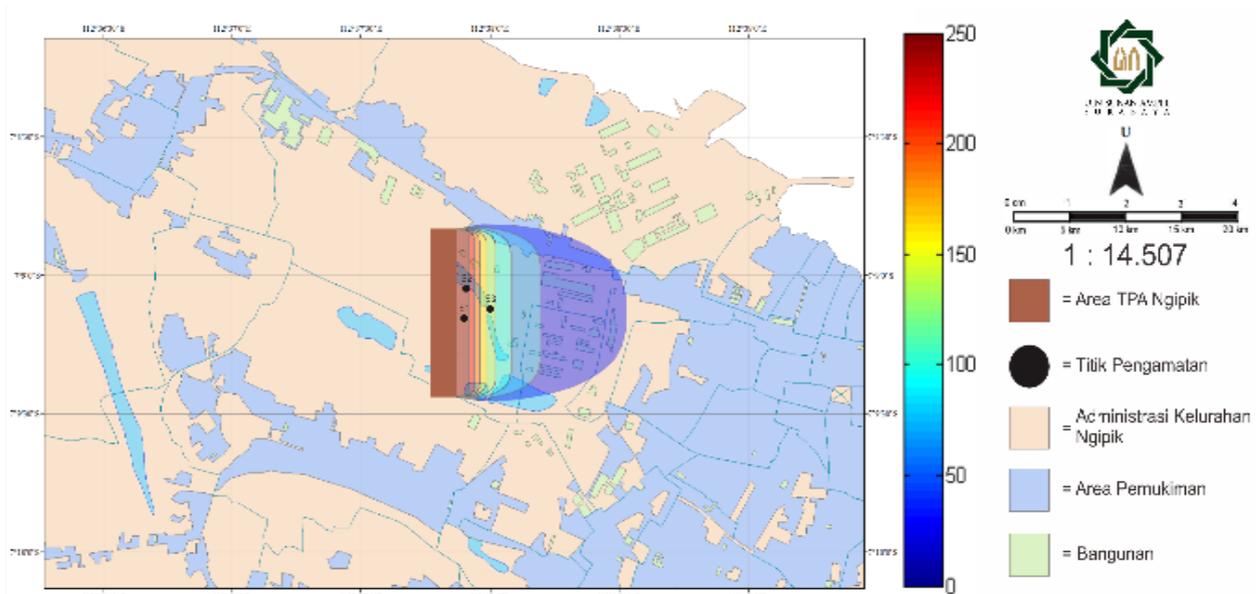
pembuangan sampah dan pencemaran lokasi meningkat.

Sedangkan Gambar 3 dan 6 menggambarkan skema distribusi lindi dengan model dua dimensi. Model ini mampu mengidentifikasi pola distribusi yang seragam terkait polutan COD dan BOD lindi yang secara langsung terangkut oleh air tanah dari TPA Ngipik yang tersebar pada jarak ± 278 m dan ± 401 m dari TPA dengan t = 18 tahun. Kedua parameter ini mengalami peristiwa dispersi seiring dengan bertambahnya jarak antara TPA dengan sumur di sekitar TPA Ngipik. Grafik dan gambar yang dibentuk sangat beragam tergantung dari rumus model yang digunakan sehingga semakin jauh posisi kontaminan yang ditempuh dari TPA maka semakin terdispersi kedua pencemar tersebut.

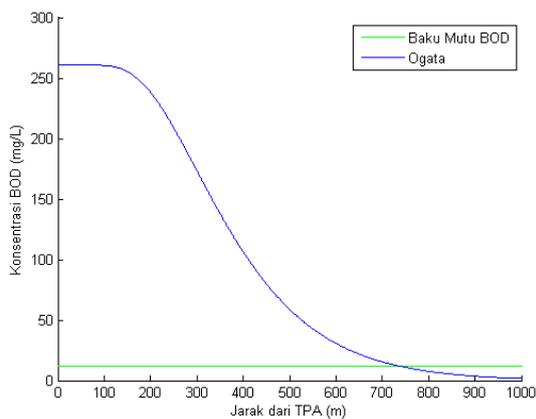


Gambar 3. Hasil Simulasi COD (Domenico-Robbins) (Sumber : Hasil Penelitian, 2022)

Gambar 4 dan 7 menunjukkan prediksi COD dan BOD jika TPA mencapai 18 tahun. Terlihat bahwa sumur-sumur penduduk yang tinggal di sekitar TPA akan selalu tercemar oleh parameter COD dan BOD pada jarak tertentu.

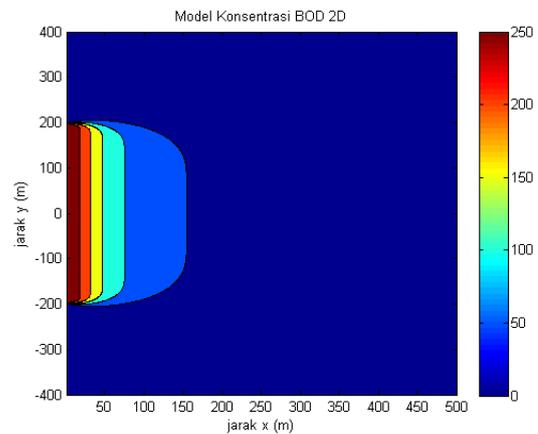


Gambar 4. Peta Sebaran COD pada t=18 tahun
(Sumber : Hasil Penelitian, 2022)



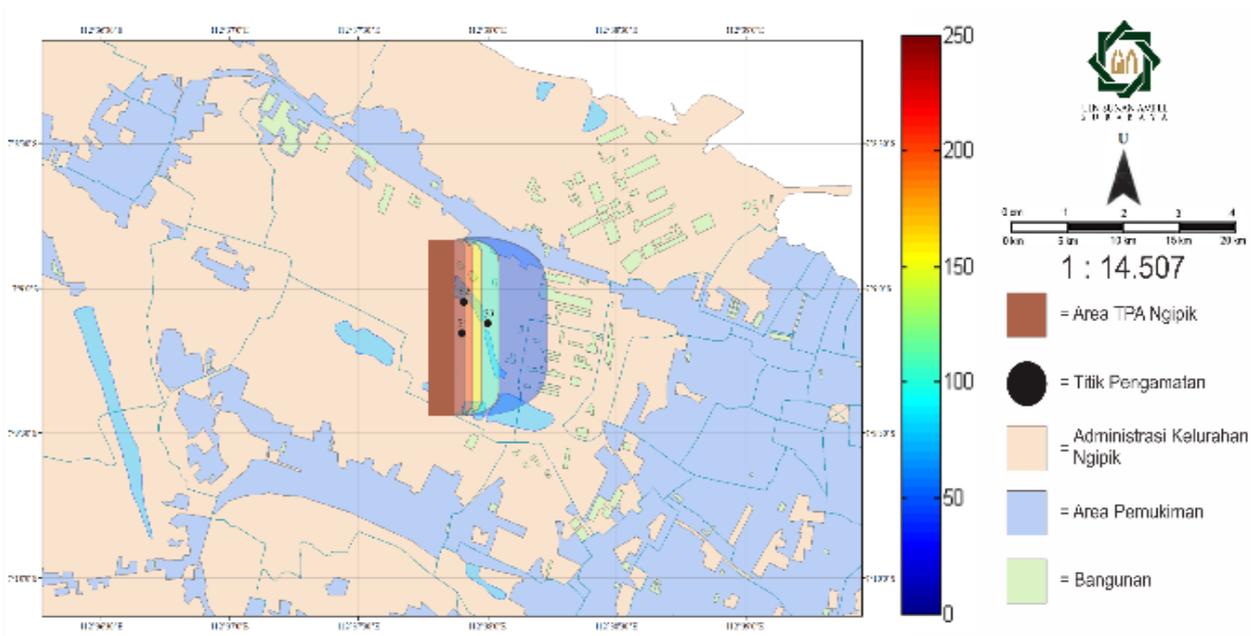
Gambar 5. Hasil Simulasi BOD (Ogata-Banks)
(Sumber : Hasil Penelitian, 2022)

Model *Ogata-Banks* merupakan model solusi analitik memiliki output 1 dimensi yang digunakan untuk menggambarkan penyebaran polutan baik pada air tanah maupun air tanah. Jika model ini (Ogata & Banks, 1961) memiliki nilai porositas (n) dan dispersivitas (D) besar maka akan menghasilkan eror yang besar. Sedangkan model *Domenico-Robbins* merupakan solusi multidimensi atau solusi analitik untuk mensimulasikan transpor pencemar pada air tanah. Model *Domenico-Robbins* juga memiliki eror jika dispersivitas longitudinal bernilai nol dan sangat sensitif terhadap tingkat dispersivitas yang digunakan (Domenico & Robbins, 1985a).



Gambar 6. Hasil Simulasi BOD (Domenico-Robbins)
(Sumber : Hasil Penelitian, 2022)

Diagram distribusi lindi untuk tahun tertentu dapat menggunakan model berbentuk 1 atau 2 dimensi. Beberapa parameter dari dapat diubah menjadi secara individual atau terhadap metode lain pada saat yang sama (Notodarmojo, 2005). Hasil kalibrasi dapat dikatakan sesuai apabila perbandingan antara data lapangan dengan data model mengeluarkan nilai eror kecil atau hamper mendekati angka nol. Nilai eror yang dihasilkan dari rumus RMSE akan semakin kecil jika selisih antara kedua data tersebut juga kecil. Hal ini akan memberikan informasi bahwa model dapat digunakan sebagai pemodelan pencemar air tanah khususnya pada parameter tertentu karena hanya terjadi perbedaan kecil terhadap data lapangan. Hasil kalibrasi model dievaluasi dengan hasil uji lapangan, salah satunya menggunakan rumus RMSE.



Gambar 7. Peta Sebaran COD Pada $t=18$ tahun
(Sumber : Hasil Penelitian, 2022)

Tabel 4 menunjukkan perbedaan error yang signifikan. Berdasarkan hasil error, solusi analitik Ogata-Banks memiliki nilai error yang lebih tinggi daripada solusi analitik Domenico-Robbins. Model solusi analitik Domenico-Robbins lebih akurat atau cocok digunakan untuk pemodelan distribusi kontaminan dalam air tanah. Solusi analitik tersebut memiliki bentuk matematis sedemikian rupa sehingga akan menghasilkan suatu nilai berupa bilangan yang mendekati nol (Rosidi, 2019).

Tabel 4. Data Pengujian Error Model

Sampel	RMSE			
	COD		BOD	
	Ogata	Domenico	Ogata	Domenico
S1	0.00250	0.0001	0.00500	0.0006
S2	0.00120	0.0037	0.00370	0.0001
S3	0.00490	0.0010	0.00380	0.0007
Rata-Rata	0.00287	0.0016	0.00417	0.000467

(Sumber : Hasil Penelitian, 2022)

Berdasarkan pembahasan diatas, TPA Ngipik berpotensi berakibat fatal terhadap kesehatan tanah dan air tanah khususnya daerah sekitar TPA. Peristiwa tersebut dapat mengekspos masyarakat di sekitar TPA untuk diserang oleh infeksi biologis air tanah yang berpotensi terkontaminasi oleh lindi TPA melalui rembesan ke dalam tanah. Menurut (Karami, 2022), sistem pengolahan sampah *Open Dumping* sebaiknya ditutup dan diganti dengan metode ramah lingkungan, yaitu *sanitary landfill* untuk kota besar atau

metropolitan, serta metode *controlled landfill* untuk kota kecil dan menengah.

4. KESIMPULAN

Simulasi model menunjukkan bahwa COD dan BOD tidak terdeteksi pada jarak ± 278 m dan ± 401 m. Model *Domenico-Robbins* memiliki rata-rata error 0,0016 untuk COD dan 0,000467 untuk BOD, sedangkan *Ogata-Banks* memiliki error 0,00287 untuk COD dan 0,00417 untuk BOD. Perbandingan verifikasi formal model solusi analitik Ogata-Banks menghasilkan nilai kesalahan lebih besar daripada solusi analitik Domenico-Robbins. Hal ini dapat dikategorikan bahwa solusi analitik *Domenico-Robbins* lebih akurat daripada solusi analitik *Ogata-Banks*.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Andika, B., Wahyuningsih, P., & Fajri, R. (2020). Penentuan Nilai Bod Dan Cod Sebagai Parameter Pencemaran Air Dan Baku Mutu Air Limbah Di Pusat Penelitian Kelapa Sawit (Ppks) Medan. *QUIMICA: Jurnal Kimia Sains dan Terapan*, 2(1), 14–22.
- Arbain, Mardana, M., & Sudana, I. (2007). Pengaruh Air Lindi Tempat Pembuangan Akhir Sampah Suwung Terhadap Kualitas Air Tanah Dangkal Di Sekitarnya Di Kelurahan Pedungan Kota Denpasar. *ECOTROPIC*, 3(8), 55–60.
- Arsyadi, A. Q. (2017). *Identifikasi Persebaran Air Lindi Di Tpa Ngipik Kabupaten*

- Gresik Dengan Menggunakan Metode Resistivitas 2d Konfigurasi Wenner-Schlumberger*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Domenico, P. A., & Robbins, G. A. (1985a). A New Method of Contaminant Plume Analysis. *Ground Water*, 23(4), 476–485. <https://doi.org/10.1111/j.1745-6584.1985.tb01497.x>
- Domenico, P. A., & Robbins, G. A. (1985b). A New Method of Contaminant Plume Analysis. *Ground Water*, 23(4), 476–485. <https://doi.org/10.1111/j.1745-6584.1985.tb01497.x>
- Ghilani, C. D., & Wolf, P. R. (2011). Adjustment computations: Spatial data analysis. Dalam *International Journal of Geographical Information Science* (Vol. 25). New Jersey: John Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/10.1080/13658816.2010.501335>
- Juliardi, A. R. N. R., & Wiyanti, R. I. (2018). The test ability of fish Tawes to leachate garbage dump (TPA) Benowo. *Journal of Physics: Conference Series*, 953(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/953/1/012223>
- Karami, A. A. (2022). *Pemodelan pola persebaran Lindi di TPA Nngipik Kabupaten Gresik menggunakan solusi analitik ogata-banks dan domenico-robbins* (Undergraduate, UIN Sunan Ampel Surabaya). UIN Sunan Ampel Surabaya. Diambil dari <http://digilib.uinsby.ac.id/51528/>
- Konig, L. F., & Weiss, J. L. (2009). *Groundwater: Modelling, management and contamination*. New York: Nova Science Publishers, Inc.
- Kurniawan, A. (2019). *Dasar-Dasar Analisis Kualitas Lingkungan*. Malang: Wineka Media.
- Mishra, S., Tiwary, D., Ohri, A., & Agnihotri, A. K. (2019). Impact Of Municipal Solid Waste Landfill Leachate On Groundwater Quality In Varanasi, India. *Groundwater For Sustainable Development*, 9(100230).
- Notodarmojo, S. (2005). *Pencemaran Tanah dan Air Tanah*. Bandung: ITB Press.
- Ogata, A., & Banks, R. B. (1961). A solution of the differential equation of longitudinal dispersion in porous media. Dalam *Geological Survey (U.S.); Professional paper*. Washington: UNITED STATES GOVERNMENT PRINTING OFFICE.
- Pardosi, I. P., & Nugroho, R. (2019). Pengelolaan Sampah Melalui Recycle Untuk Kemandirian Masyarakat Di Kelurahan Sekardangan Kabupaten Sidoarjo. *Jurnal Pendidikan Untuk Semua*, 8(2).
- Pidriansy, Q. (2013). *Kajian Pencemaran Air Tanah Dangkal dan Analisis Resiko Kesehatan Manusia Akibat Lindi dari Landfill (Studi Kasus: TPA Burangkeng, Bekasi)*. Institut Teknologi Bandung.
- Rana, R., Ganguly, R., & Gupta, A. K. (2018). Indexing method for assessment of pollution potential of leachate from non-engineered landfill sites and its effect on ground water quality. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190(1). <https://doi.org/10.1007/s10661-017-6417-1>
- Rosidi, M. (2019). *Metode Numerik Menggunakan R Untuk Teknik Lingkungan*. Bandung: Piktochart. Diambil dari https://bookdown.org/moh_rosidi2610/Metode_Numerik/
- Sawyer, C. N., McCarty, P. L., & Parkin, G. F. (2003). *Chemistry for environmental engineering and science* (5th ed). Boston: McGraw-Hill.
- SNI 06-6989.2:2004. (2004). *Air dan Air Limbah—Bagian 2: Cara Uji Kebutuhan Oksigen Kimiawi (KOK) dengan Refluks Tertutup secara Spektrofotometri*. Badan Standardisasi Nasional Indonesia.
- SNI 06-6989.23:2005. (2019). *Air dan Air Limbah—Bagian 23: Cara uji suhu dengan termometer*. Badan Standardisasi Nasional Indonesia.
- SNI 6989.11:2019. (2004). *Air dan Air Limbah—Bagian 11: Cara uji derajat keasaman (pH) dengan menggunakan pH meter*. Badan Standardisasi Nasional Indonesia.
- SNI 6989.58:2008. (2008). *Air dan Air Limbah—Bagian 58: Metoda Pengambilan Contoh Air Tanah*. Badan Standardisasi Nasional Indonesia.
- SNI 6989.59:2008. (2008). *Air dan Air Limbah—Bagian 59: Metoda Pengambilan Contoh Air Limbah*. Badan Standardisasi Nasional Indonesia.
- SNI 6989.72:2009. (2009). *Air dan Air Limbah—Bagian 72: Cara Uji Kebutuhan Oksigen Biokimia*

- (Biochemical Oxygen Demand / BOD).
Badan Standardisasi Nasional
Indonesia.
- Tong, W., & Rong, Y. (2013). Domenico Spreadsheet Analytical Manual. Diambil 7 Juni 2022, dari http://www.waterboards.ca.gov/losangeles/water_issues/programs/ust/publications.
- USDA. (1999). *Soil Taxonomy A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys* (2 ed.). Washington, DC: United States Department of Agriculture Natural Resources Conservation Service. Diambil dari https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_051232.pdf
- Wang, K., Li, L., Tan, F., & Wu, D. (2018). Treatment of landfill leachate using activated sludge technology: A review. *Archaea*, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/1039453>
- Williams, R. L. (2014). Survey Sampling and Weighting. *Encyclopedia of Health Economics*, 3, 371–374. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-375678-7.00703-3>
- Yatim, E. M., & Mukhlis, M. (2013). Pengaruh lindi (leachate) sampah terhadap air sumur penduduk sekitar tempat pembuangan akhir (TPA) air dingin. *Jurnal Kesehatan Masyarakat Andalas*, 7(2), 54–59.
- Ye, Z. L., Hong, Y., Pan, S., Huang, Z., Chen, S., & Wang, W. (2017). Full-scale treatment of landfill leachate by using the mechanical vapor recompression combined with coagulation pretreatment. *Waste Management*, 66, 88–96. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.04.026>
- Zaman, B., & Istirokhatun, T. (2014). *Penyisihan Bod Dan Cod Dalam Lindi Pada Constructed Wetland Menggunakan Typha Angustifolia Dengan Pengaruh Debit Dan Jumlah Tumbuhan Yang Berbeda (Studi Kasus: Tempat Pembuangan Sampah Kawasan Industri Terboyo, Semarang, Jawa Tengah)*. Doctoral Dissertation, Diponegoro University.